

VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM

Осветительные установки

*Допущено Министерством
электротехнической промышленности
в качестве учебника
для учащихся техникумов,
обучающихся по специальности
«Электроосветительные приборы и установки»*

122665



БИБЛИОТЕКА
ГОМЕЛЬСКОГО
ПОЛИТЕХНИКУМА

Москва
«Высшая школа»
1984

В решениях XXVI съезда КПСС большое внимание уделено вопросам повышения производительности труда в общественном производстве, улучшению условий труда и быта трудящихся. Важным аспектом решения этой задачи является создание эффективной световой среды. Немалое значение имеет искусственное освещение, которое создает возможность нормальной деятельности человека при отсутствии или недостаточности естественного освещения.

На устройство и эксплуатацию искусственного освещения затрачиваются значительные материальные средства и большое количество электроэнергии. Ежегодно у нас в стране на эти цели расходуется не менее 110—120 млрд. кВт·ч электроэнергии. Это составляет около 10—12% всей вырабатываемой электроэнергии. Рациональная организация освещения обеспечивает количественные и качественные характеристики осветительных установок, значительно повышает производительность труда, улучшает качество выпускаемой продукции и снижает ее себестоимость.

Эффективное решение задач научной организации труда возможно только на основе использования достижений технических, экономических, медицинских и биологических наук. Одна из актуальных задач, решение которой обеспечивает безопасный труд и повышение работоспособности человека, — рационализация рабочего места и его освещения.

Особенно большое значение имеет освещение на предприятиях, работающих в две или три смены. Соответствующее выполнение осветительных установок способствует повышению производительности труда в вечернее и ночное время до уровня производительности дневных смен.

Освещение существенно влияет на центральную нервную систему. Осветительные установки в городах, поселках городского типа и сельской местности должны обеспечивать не только требование безопасности транспорта и людей, но и являться частью гармонической композиции вечернего облика города.

Светотехника тесно связана с искусством, в частности архитектурой. Создание полноценного произведения искусства невозможно без знания основ осветительной техники. Единство архитектурного и светотехнического решений способствует наилучшему восприятию архитектурно-художественного объекта и обеспечивает выполнение функциональных и технологических требований.

Поэтому большое внимание уделяется экономической и энергетической эффективности осветительных установок. Основными путями повышения экономичности осветительных установок является повышение эффективности источников света и светильников, применение автоматических устройств для регулирования искусственного освещения в зависимости от естественного света, рационализация в проектировании, методах расчета и разработке промышленных методов монтажа осветительных установок.

§ 1.1. Глаз и его работа

Основное назначение искусственного освещения состоит в создании условий, позволяющих глазу человека выполнить необходимую зрительную работу — обнаружить какой-либо предмет, определить его форму и т. п. Поэтому рациональные осветительные условия и способы освещения устанавливаются в соответствии со свойствами и характеристиками зрительного аппарата человека.

Глаз имеет форму, близкую к форме шара (рис. 1.1). Диаметр его у взрослого человека составляет около 24 мм. Снаружи глаз

окружен толстой оболочкой — склерой 1. Передняя часть склеры — роговица 2 прозрачна и выпукла. Мышцы 11 поворачивают глаз в разные стороны. К склере прилегает сосудистая оболочка 2, служащая для питания глаза. Спереди к сосудистой оболочке прикреплено ресничное тело 6. Хрусталик 10 под действием связок 7 прикреплен к ресничному телу. Хрусталик прозрачен и имеет слоистую структуру. Непосредственно перед хрусталиком находится радужная оболочка 8 с круглым отверстием для зрачка, регулирующего входящий в глаз световой поток. Посредством мускулов ресничного тела и связок выпуклость хрусталика может изменяться. Пространство между хрусталиком и роговицей называется передней камерой глаза. За хрусталиком находится внутреннее пространство глаза. Передняя камера наполнена прозрачной жидкостью, внутренняя оболочка покрыта изнутри сетчатой оболочкой — ретиной 3, являющейся разрастанием зрительного нерва 5.

Сетчатая оболочка состоит из сложного переплетения волокон зрительного нерва, связывающего глаз с корой головного мозга. Окончания волокон зрительного нерва (светочувствительные элементы) поглощают падающий лучистый поток, что вызывает фотодиссоциацию молекул светочувствительного вещества (фотореагента), заполняющего светочувствительные элементы. Эти элементы в зависимости от их формы и назначения делятся на палочки и колбочки. В центре сетчатки (см. рис. 1.1) находится центральная ямка — так называемое «желтое пятно» 4 овальной формы, в котором колбочек значительно больше, чем палочек.

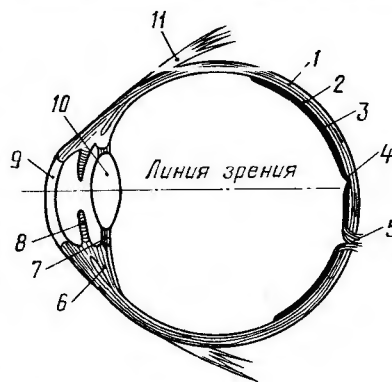


Рис. 1.1. Схема строения глаза

диаметр его около 1 мм. В центральном углублении желтого пятна палочки отсутствуют. Светочувствительное вещество — *родопсин*, обнаруженное в палочках, обладает высокой чувствительностью к излучениям в видимой области спектра. Поэтому палочки, работающие при низких уровнях яркости, называются аппаратом ночного зрения. Колбочки, содержащие светочувствительное вещество, называемое *иодопсином*, обладающее меньшей чувствительностью к излучениям, работают при относительно высоких уровнях яркости и называются аппаратом дневного зрения. В отличие от палочек, реагирующих только на свет, колбочки реагируют на свет и цветность. Способность глаза оценивать излучение по цвету основана на наличии в глазе трех разновидностей колбочек с неодинаковой избирательной чувствительностью к однородным излучениям.

Преобладающая доля зрительной работы совершается колбочками, с помощью которых глазом воспринимаются как ахроматические, так и хроматические ощущения. При наблюдении объектов глаз обегает поле зрения так, чтобы изображения отдельных участков последовательно попадали на центральную ямку. Это фиксирование производится поворотом обоих глаз до пересечения зрительных осей на рассматриваемом предмете (конвергенция).

В этом случае человек видит предметы отчетливо. Объясняется это тем, что глаз, подобно оптической системе, дает наилучшие изображения для точек, расположенных близко к оптической оси и имеющих более плотное размещение светочувствительных элементов в этой области сетчатки.

Зрение — сложный процесс. Химические и электрические явления в сетчатке глаза, передача нервных импульсов по зрительному нерву, деятельность клеток в зрительных зонах мозга — все это составные части процесса, называемого зрением.

Различают зрение *центральное* и *периферическое*. Центральное зрение отличается тем, что позволяет судить о спектральном составе света, а периферическое обладает более высокой (в тысячи раз) чувствительностью к свету, но меньшей четкостью и отсутствием возможности различать цвета.

Глаз человека представляет собой прототип фотографической камеры. Изображение рассматриваемых предметов проектируется на сетчатую оболочку глаза с помощью хрусталика. Изменение выпуклости хрусталика (аккомодация) дает возможность получить на сетчатке отчетливое изображение предметов, находящихся на различных расстояниях от глаза.

Световые лучи, проходя через хрусталик и роговую оболочку глаза, преломляются и создают уменьшенное обратное изображение рассматриваемого объекта на сетчатке глаза. Светочувствительные окончания нервных волокон поглощают падающий на них световой поток, в результате чего в волокнах нерва возникают импульсные электрические токи, протекающие от сетчатки к коре головного мозга. Освещенность сетчатки, создаваемая

отраженным от рассматриваемого предмета светом, определяется яркостью этого предмета по направлению к глазу.

Светящая поверхность площадью S_1 (рис. 1.2), обладающая яркостью L и находящаяся на расстоянии $\mathcal{L}$ от глаза наблюдателя, создает на сетчатке глаза освещенность E_c . Освещенность сетчатки

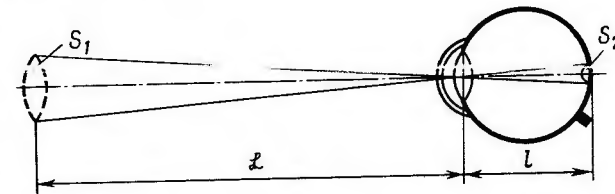


Рис. 1.2. Схема построения изображения на сетчатке глаза

определяется световым потоком Φ , упавшим на нее, площадью изображения светящей поверхности на сетчатке S_2 : $E_c = \Phi/S_2$.

Световой поток, упавший на сетчатку, равен световому потоку, упавшему на отверстие зрачка q , уменьшенному за счет поглощения в глазных средах τ . Следовательно, можно записать

$$\Phi = \tau L S_1 q / \mathcal{L}^2 \quad (1.1)$$

Освещенность сетчатки

$$E_c = \tau q \frac{L S_1}{\mathcal{L}^2 S_2}, \quad (1.2)$$

где q — площадь зрачка; τ — коэффициент пропускания глазных сред; S_1 — площадь светящей поверхности; S_2 — площадь изображения на сетчатке; L — яркость светящей поверхности; $\mathcal{L}$ — расстояние между глазом и светящей поверхностью.

Так как

$$S_1/S_2 = \mathcal{L}^2/l^2,$$

то

$$E_c = \frac{\tau q}{l^2} L \quad (1.3)$$

(l — глубина глазного яблока).

Полученное равенство позволяет установить, что освещенность на сетчатке, определяющая зрительное ощущение, зависит от яркости рассматриваемой поверхности и не зависит от расстояния между глазом и рассматриваемой поверхностью (это справедливо, если можно пренебречь поглощением и рассеянием света по пути прохождения световых лучей).

Человеческому глазу присущи дефекты и ограничения, свойственные всякой оптической системе. Однако широкие пределы чувствительности глаза, его способность приспосабливаться к раз-

личным условиям распределения яркости в поле зрения позволяют оценивать глаз как наиболее совершенный орган чувств.

Свойство глаза приспосабливаться к резким переменам освещения называется адаптацией. При переходе от темноты к свету (световая адаптация) запас светочувствительного вещества в глазе уменьшается, вследствие чего его чувствительность понижается. Процесс световой адаптации происходит сравнительно быстро и в первые 5—8 мин наблюдается значительное снижение чувствительности. При переходе от света к темноте (темновая адаптация) чувствительные вещества в глазе регенерируют, запас их увеличивается и чувствительность глаза повышается. Процесс темновой адаптации, однако, идет значительно медленнее, чем световой: в начале (5—8 мин) наблюдается быстрый рост чувствительности, затем он замедляется и полную чувствительность глаз приобретает лишь через несколько часов.

Устройство глаза и способность его к адаптации позволяют воспринимать широкий диапазон яркости. При малых яркостях (менее 0,01 кд/м²) работают только палочки, при увеличении яркости (от 0,01 до 10 кд/м²) вступают в действие колбочки и работают вместе с палочками. При дальнейшем увеличении яркости (свыше 10 кд/м²) палочки прекращают работу, функционируют только колбочки, а при очень высоких яркостях глаз должен принимать меры к предохранению от ослепления.

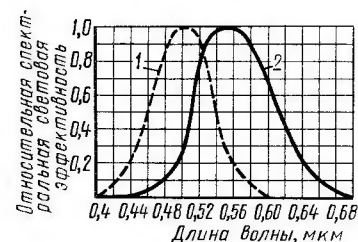


Рис. 1.3. Кривые относительной спектральной световой эффективности:

1 — для ночного зрения, 2 — для дневного

при отделке зданий и интерьеров, освещаемых источниками с различной цветностью излучения.

§ 1.2. Контрастная чувствительность зрения

Для того чтобы глаз отличал какую-либо деталь, необходимо иметь различие в цвете или яркости фона и детали. В данном случае имеет значение не абсолютное, а относительное различие в яркостях деталей и фона, называемое контрастом, который равен отношению разности яркостей фона и детали к яркости фона:

$$K = (L_{\phi} - L_d) / L_{\phi}, \quad (1.4)$$

где L_{ϕ} — яркость фона; L_d — яркость детали.

Способность глаза воспринимать наименьшие контрасты называется контрастной чувствительностью. Мерой ее служит обратное значение наименьшего воспринимаемого глазом контраста. Наименьшая, воспринимаемая разность яркостей объекта и фона, выраженная в процентах от яркости фона, называется порогом контрастной чувствительности глаза в данных условиях освещения.

Контрастная чувствительность глаза

$$A = \frac{1}{K_{\text{пор}}} = \frac{L_{\phi}}{|L_{\phi} - L_{d\text{мин}}|}, \quad (1.5)$$

где $K_{\text{пор}}$ — пороговое значение различаемого контраста.

С увеличением яркости поля адаптации контрастная чувствительность глаза растет (рис. 1.4). Однако этот рост почти останавливается при яркости адаптации фона около 350 кд/м², увеличение яркости до 5000—6000 кд/м² не дает заметного роста контрастной чувствительности, а дальнейшее ее увеличение снижает контрастную чувствительность в связи со слепящим действием больших яркостей.

Пороговый контраст зависит также от углового размера объекта α , под которым принято понимать отношение абсолютного размера объекта к расстоянию его до глаза наблюдателя. Пороговый контраст увеличивается при уменьшении углового размера объекта различения (рис. 1.5).

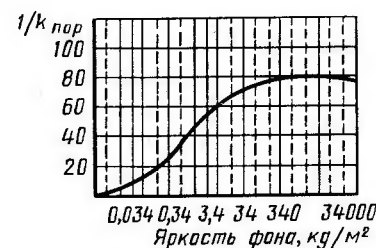


Рис. 1.4. Зависимость контрастной чувствительности глаза от яркости фона

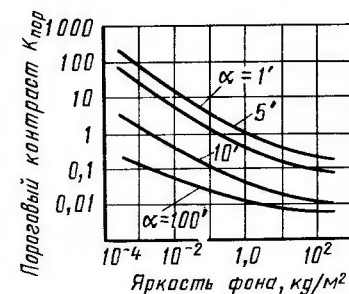


Рис. 1.5. Зависимость порогового контраста от яркости фона для объектов различения различных угловых размеров

При больших размерах объекта различения ($\alpha \geq 20^\circ$) и значениях яркости фона, превышающих 100 кд/м², пороговый контраст практически постоянен и равен своему минимально возможному значению. Диапазон яркости фона, в пределах которого пороговый контраст можно считать постоянным, называется областью Вебера — Фехнера.

§ 1.3. Разрешающая способность глаза

Разрешающая способность глаза характеризуется минимальным угловым размером пространства между двумя исследуемыми объектами (квадратами, прямоугольниками, линиями) и определяется отношением размера промежутка к расстоянию от него до глаза.

Разрешающую способность глаза, равную приблизительно 1/3500, принято считать нормальной, что соответствует минимальному разрешающему углу в 1'.

При благоприятных условиях освещения у человека с нормальным зрением минимальный разрешающий угол может уменьшиться до 0,7—0,8'.

Разрешающая способность глаза имеет большое значение при необходимости различения мелких объектов.

Измерение разрешающей способности (или обратной ей величины, называемой остротой зрения) проводится с помощью специальных таблиц на которых напечатаны буквы, цифры, либо так называемые кольца Ландольта (рис. 1.6) раз-

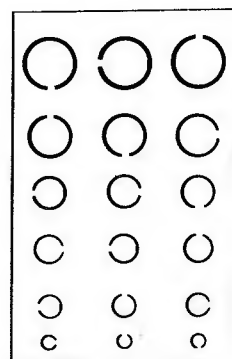
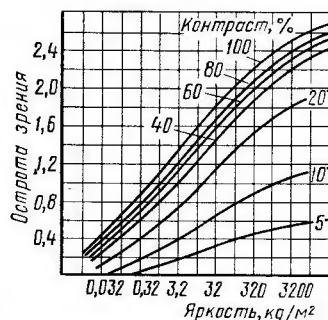


Рис. 1.6. Таблица с кольцами Ландольта для определения остроты зрения

Рис. 1.7. Острота зрения в зависимости от яркости фона при различном контрасте деталей с фоном



личных размеров и толщины. Знаки одинакового размера напечатаны в отдельных строках. Размеры выбраны так, чтобы буквы или знаки были видны при указанном в таблице расстоянии (обычно 5 м) под различными углами, также указанными на полях таблицы. При измерении разрешающей способности глаза таблицу укрепляют на стене или специальном щите. Наблюдатель располагается на расстоянии 5 м от таблицы, на которой создана равномерная без бликов освещенность. Во время исследования испытуемому предлагают назвать букву, знак или направление разрыва кольца Ландольта. Наименьший по размерам знак таблицы, который испытуемый называет правильно, позволяет судить о разрешающей способности его зрения.

На рис. 1.7. показана зависимость остроты зрения от яркости поля адаптации при различном контрасте деталей с фоном. Из кри-

вых видно, что острота зрения возрастает особенно при переходе от малых яркостей фона (долей кд/м²) к яркостям 500—700 кд/м². Дальнейшее увеличение яркости не дает значительного роста остроты зрения. Кривые свидетельствуют также о большом влиянии на остроту зрения контраста деталей с фоном.

§ 1.4. Скорость зрительного восприятия

Скорость зрительного восприятия характеризуется значением, обратным наименьшему времени, необходимому для различения рассматриваемого объекта. Она зависит от яркости фона, на котором рассматривается объект, его размера, а также контраста с фоном.

Определение условий освещения с помощью скорости различения обычно применяется при исследованиях в условиях лаборатории, так как используемая при этом аппаратура неудобна на производстве. Основным элементом в таких установках является тахистоскоп. Его помещают между исследуемым объектом различения и наблюдателем таким образом, что последний может видеть предъявляемый для различения объект лишь за время прохождения перед ним раскрытия тахистоскопа.

Время экспозиции различаемой детали может изменяться в зависимости от числа оборотов и раскрытия секторного отверстия в диске. Обычно скорость различения изменяется в пределах 1—1200 с⁻¹. Объектами различения чаще всего служат кольца Ландольта, разрывы которых направлены в разные стороны. Зрительной задачей в опытах с кольцами Ландольта является определение направления разрыва кольца. Вместо кольца Ландольта могут быть выбраны объемные, геометрически правильные тела (куб, цилиндр, конус, призма и т. п.). Связь между освещенностью фона (поля зрения) и скоростью различения при наблюдении черных объектов на белом фоне показана на рис. 1.8. Из рисунка видно, что скорость различения значительно растет при увеличении освещенности и ее рост практически прекращается при освещенности 1000 лк.

Вестон исследовал «зрительную» работоспособность по скорости и вероятности различения направления разрыва колец Ландольта при кратковременном их наблюдении в зависимости от уровня освещенности и контраста объекта с фоном.

Зрительная задача состояла в вычеркивании колец с заданным направлением разрыва. Зрительная работоспособность оценивалась по формуле

$$\eta = (N / T) (n' / n),$$

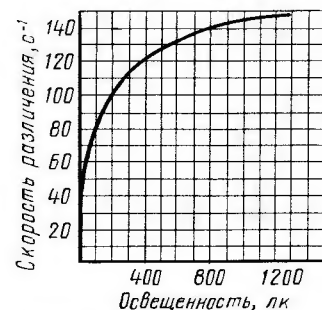


Рис. 1.8. Зависимость скорости различения от освещенности фона. Рассматривается черный кружок размером 2,5' на фоне с коэффициентом отражения 0,8

где N — общее число просмотренных колец; T — время просмотра; n' — количество колец с заданной ориентацией; n — количество правильно опознанных колец.

§ 1.5. Устойчивость ясного видения и адиспаропия

Способность глаза длительно сохранять в поле зрения фиксированные глазом детали называется *устойчивостью ясного видения*. При длительном сосредоточенном рассматривании какого-либо мелкого предмета происходит утомление зрения. Оно характеризуется тем, что предмет виден отчетливо лишь временами, сменяющимися периодами, при которых он становится расплывчатым и неясным. Это объясняется утомлением глазных мышц, стремящихся при рассматривании предмета удерживать глаз в положении, при котором изображение оставалось бы на одном и том же месте сетчатки.

При изменении места изображения фиксируемого предмета на сетчатке глаза требуется некоторое время для достижения ясного видения. Количественным показателем устойчивости ясного видения принято считать отношение времени ясного видения ко всему времени сосредоточенного рассматривания мелкого предмета (обычно 3 мин).

Исследованиями доказано, что на устойчивость ясного видения в значительной степени влияют условия освещения, характер выполняемой работы, ее продолжительность. Поэтому определение устойчивости ясного видения (у.я.в.) часто проводится для оценки зрительной работоспособности в различных осветительных условиях, а изменение этой функции в процессе работы является наглядной и удобной характеристикой утомления зрения.

Определение у.я.в. тех деталей, которые должны различаться в процессе работы, затруднительно, а иногда невозможно. В качестве объектов различения подбирают специальные тесты, значения у.я.в. которых ничего не говорит экспериментатору. Поэтому

исследования с у.я.в. основаны на сравнении нескольких ее значений: при разных вариантах освещения, до и после работы и т. д. При таком использовании у.я.в. является одной из наиболее важных и широко используемых характеристик гигиенической оценки условий освещения. Характер зависимости у.я.в. от освещенности поля зрения (по усредненным данным) показан на рис. 1.9. Значительный рост этой функции зрения достигается в зоне до 200 лк. Необходимо отметить, что в зависимости от характера зрительной работы и качества освещения значения у.я.в. могут отличаться от показанных на рис. 1.9.

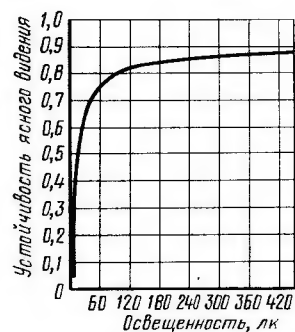


Рис. 1.9. Зависимость устойчивости ясного видения от освещенности фона

Во многих исследованиях широко распространен метод оценки зрительного утомления с помощью адиспаропии. В основе этого метода лежит временное снижение устойчивости различительной способности глаза при длительной фиксации глазом контрастных цветных или ахроматических полей. Для определения значения адиспаропии может применяться круглое поле размером 70 мм, разделенное на две равные части, контраст между которыми равен 0,8 на фоне с коэффициентом отражения $\rho = 0,75$.

Критерием оценки осветительных условий служит отношение времени ясного видения линии раздела полей к полному времени его фиксации, которое, как и при определении устойчивости ясного видения, принимается равным 3 мин.

§ 1.6. Видимость объектов

Для оценки эффективности освещения общим показателем, который учитывает условия освещения и его изменение, может характеризовать условия работы зрения, является *видимость*.

При видимости, меньшей единицы, рассматриваемый объект не будет виден, при ее значении, равном единице, объект будет едва различим. Полное различение объекта возможно только при значении видимости, большем единицы. Наиболее правильным методом оценки видимости является метод определения *запаса различимости*. Такое сравнение возможно по времени различения: если объект должен быть различен за 0,1 с, а различается за 0,05 с, то видимость при этом составит 2. Если в данных условиях может быть различим контраст объекта с фоном, равный 0,2, а фактический составляет 0,6, то видимость равна 3.

Пользуясь методом *сравнения контрастов объекта с фоном*, можно определить различимость числом пороговых контрастов в контрасте объекта с фоном, имеющем место в исследуемом варианте, что и служит видимостью, которая определяется из соотношения

$$V = K/K_{\text{пор}}, \quad (1.6)$$

где K — фактический контраст объекта с фоном; $K_{\text{пор}}$ — пороговый, т. е. наименьший различимый, контраст.

Это определение подсказывает и способ измерения видимости: следует тем или иным методом уменьшить видимый контраст K , доведя его до $K_{\text{пор}}$. Зная, во сколько раз пришлось уменьшить K , можно определить V .

Видимость зависит от яркости рассматриваемого объекта и фона, на котором он виден; угловых размеров, формы и времени наблюдения; состояния адаптации и световой обстановки.

Искусственное снижение видимости осуществляется специальными приборами, называемыми *измерителями видимости*. Они могут быть рекомендованы для гигиенической оценки осветительной установки.

Предложены и применяются разные типы измерителей видимости. Так, в приборе М. Лекиша и Ф. Мосса доведение видимости до порогового значения достигается с помощью фотометрического клина с плавно изменяющимся коэффициентом пропускания, помещаемого между глазами наблюдателя и объектом различения.

В измерителе видимости А. А. Труханова между глазом и объектом помещается прозрачная стеклянная пластинка, в которой отражается кружок из молочного стекла регулируемой яркости. Это отражение образует в центральном поле зрения световую дымку, снижающую видимый контраст между деталью различения и фоном и доводящую его до порогового значения.

В нашей стране распространен бинокулярный поляризационный измеритель видимости системы проф. Л. Л. Дашкевича, принцип работы которого основан на доведении кажущегося контраста объекта с фоном, рассматриваемого через прибор, до пороговых значений путем искусственного уменьшения яркости изображения объекта при постоянной яркости фона. При рассматривании объекта через оптическую систему прибора благодаря двупреломляющей призме в поле зрения появляются два изображения объекта, образованные лучами света, поляризованными во взаимно перпендикулярных плоскостях. При повороте поляроида одно изображение объекта постепенно ослабевает, а другое усиливается, яркость же фона остается постоянной. При некотором положении поляроида, зависящем от контраста объекта с фоном и его яркости, видимость одного изображения объекта можно довести до порога (оно становится едва заметным). При этом показание прибора дает значение видимости в условных единицах.

Измеритель позволяет оценить видимость V числом пороговых контрастов $K_{\text{пор}}$ в контрасте объекта с фоном. Недостатки этого прибора следующие: 1) изменение видимости производится в условиях яркости поля зрения, хотя и постоянной, но значительно пониженной по сравнению с ее фактическим уровнем; 2) оправа прибора ограничивает поле зрения: в той или иной степени исключает влияние слепящих источников и периферических полей адаптации; 3) время экспозиции различаемого объекта не может регулироваться; 4) при наличии в поле зрения бликов, вследствие зеркального отражения света от рассматриваемого объекта и фона, прибор может дать ошибочные результаты: это вызвано тем, что зеркально отраженные лучи света оказываются частично или полностью поляризованными. В таком случае поляроид и двупреломляющая призма могут погасить блики, и видимость окажется выше, чем в действительности.

§ 1.7. Видимость объектов в условиях неравномерного распределения яркости

При обычных условиях работы глаза видимость объектов, как правило, осуществляется на фоне неравномерной яркости. Распределение яркости в поле зрения определяется не только различием коэффициентов яркости отдельных участков поля зрения, но также

и распределением светового потока по освещаемым поверхностям.

Распределение яркости имеет особое значение для промышленных осветительных установок, где условия освещения влияют на работоспособность зрения, а следовательно, на уровень производительности труда.

Этим вопросам посвящены многие исследования, наиболее полное и критическое обобщение которых дано Ц. И. Кроль. В ее трудах рассмотрено влияние размера центральной зоны поля зрения и соотношение ее яркости с яркостью периферии на функции зрения и зрительную работоспособность.

На основании многочисленных исследований установлено, что неосвещенная периферическая часть поля зрения (яркость $L_{\text{п}} = 0$) вызывает снижение функций зрения и отрицательно влияет на производительность труда. Это снижение зависит от различных параметров осветительной установки (углового размера центральной части поля зрения, его яркости, исследуемых функций и выбранных тестов) и колеблется в пределах от 30 до 70%.

Анализ проведенных исследований показывает снижение функций зрения при наличии темного окружения. Однако большее снижение происходит при яркости периферии поля зрения большей, чем яркость рабочего места. Во время выполнения зрительной работы линия зрения не сохраняет постоянного направления. Поэтому при неравномерном распределении яркости в поле зрения могут происходить процессы переадаптации с одной яркости на другую.

В процессе переадаптации повышается пороговый контраст; с увеличением времени переадаптации возрастает время восстановления чувствительности зрения.

Сравнение индуктивного влияния неравномерного распределения яркости в поле зрения и переадаптации показывает, что первое оказывает значительно большее отрицательное влияние на функции зрения, чем переадаптация.

На основании исследований, проведенных В. В. Мешковым, Лекиш и Мосс, Э. А. Котовой и др., можно прийти к такому выводу: *всякое неравномерное распределение яркости в поле зрения вызывает снижение функций зрения*. Особенно заметное снижение наблюдается при яркости периферии $L_{\text{п}}$, большей яркости центра $L_{\text{ц}}$. Функцией, остро реагирующей на неравномерное распределение яркости в поле зрения, является *контрастная чувствительность*.

Особенно резкое снижение видимости наблюдается при появлении в поле зрения рабочих пятен большой яркости, которыми являются незащищенные источники света или светильники с высокой яркостью. Чрезмерно яркие части источников света и светильников (прямое действие), а также их зеркальные отражения (отраженное действие), попадающие в поле зрения работающих, вызывают ухудшение условий работы зрения. Это свойство источников света и светильников называют *блескостью*.

Вызываемое блескостью состояние зрения, связанное с ухудшением его нормальной работы, принято называть *ослепленностью*.

Блескость осветительных установок определяется: 1) яркостью видимых источников света и светящихся частей светильников; 2) силой света блеского источника в направлении к глазу наблюдателя; 3) размерами светящихся частей блеских источников.

Однако слепящее действие прямой блескости зависит и от других факторов, а именно: 1) от расположения светильников в поле зрения, определяемого углом действия, зависящим от высоты подвеса светильника и его защитного угла; 2) яркости фона, на котором виден блеский источник; 3) освещенности на зрачке, создаваемой светильниками.

Отрицательное действие блескости на зрение (ослепленность) тем больше, чем точнее выполняемая зрительная работа.

Во всех правилах и нормах искусственного освещения предусматриваются меры для ограничения блескости.

§ 1.8. Влияние блескости на зрительные функции

Наличие в поле зрения блескости отрицательно воздействует на зрение.

Вызванное этой блескостью состояние ослепленности эквивалентно появлению в поле зрения вуалирующей пелены, яркость которой β накладывается на яркость фона и детали, уменьшая видимый контраст между ними и приводя к уменьшению видимости.

В качестве критерия ослепленности, вызванной блеским источником света, проф. В. В. Мешков предложил принять изменение пороговой разности яркости между объектом и фоном при наличии блескости.

Было введено также понятие о коэффициенте ослепленности для характеристики изменения видимости вследствие действия блескости.

Коэффициент ослепленности S определяется отношением пороговых разностей яркости при наличии и отсутствии блескости в поле зрения

$$S = \Delta L_s / \Delta L, \quad (1.7)$$

где ΔL_s и ΔL — пороговые разности яркостей при наличии и отсутствии блескости.

Коэффициент ослепленности при слепящей яркости не более 10^6 кд/м²

$$S = 1 + (3 \lg L - 8,54) \frac{I \cos \theta}{L^2 \theta^2 (L_\phi + \gamma)}, \quad (1.8)$$

где L — яркость блеского источника, кд/м²; I — сила света источника в направлении глаз наблюдателя, кд; θ — угол действия блеского источника (т. е. угол между линией зрения в направлении источника и горизонтальной линией зрения), град; L_ϕ — рас-

стояние от глаза до источника блескости, м; L_ϕ — яркость фона, на котором наблюдается блеский источник, кд/м²; $\gamma = 0,207$ — яркость собственного света сетчатки, кд/м².

Если $L > 10^6$ кд/м², то

$$S = 1 + 9,46 \frac{I \cos \theta}{L^2 \theta^2 (L_\phi + \gamma)}. \quad (1.9)$$

На рис. 1.10 показано относительное изменение функций зрения под влиянием блескости (при отсутствии блескости значения функций зрения приняты за 100%). Из кривых видно, что при наличии блескости наибольшему снижению подвергается контрастная чувствительность; снижение скорости различения заметнее при работе, требующей большего напряжения зрения; с увеличением яркости поля адаптации действие блескости уменьшается. Отрицательное действие блескости проявляется и до возникновения ослепленности, когда при относительно небольшой блескости появляются неудобства в работе или так называемый зрительный дискомфорт, приводящий к утомлению зрения.

Как показали исследования Л. Холлэдей, различные стадии дискомфорта зависят от соотношения блеского источника и фона, на котором виден источник, а также от телесного угла ω , под которым виден из данной точки источник света. Им предложена следующая формула для оценки ощущения зрительного дискомфорта и ослепленности в результате действия блескости:

$$k = \lg L + 0,25 \lg \omega - 0,3 \lg L_\phi - 0,35, \quad (1.10)$$

где k — коэффициент, характеризующий действие блескости; ω — телесный угол, под которым виден источник блескости, ср.

Степень действия блескости количественно характеризуется следующими значениями k : 1) не более 1,2 — условия считаются комфортными; 2) 1,9 — появляются пороговые условия между ощущением комфорта и дискомфорта; 3) 2,2—2,4 — создается неприятное ощущение ослепленности; 4) при $k = 2,6$ и выше, ослепленность становится нетерпимой.

Предельное значение яркости блеского источника для пограничных условий комфорт — дискомфорт выражается зависимостью

$$L_{k-d} = 178 L_\phi^{0,3} / \omega^{0,25}. \quad (1.11)$$

Наличие блеских источников в поле зрения работающего отрицательно сказывается на производительности труда.

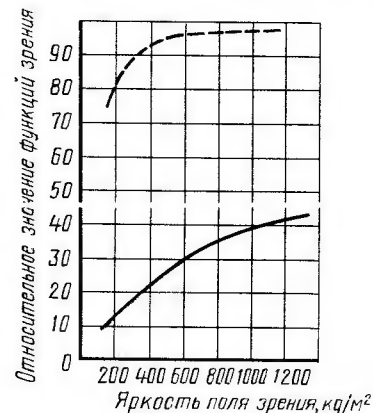


Рис. 1.10. Относительные значения функций зрения при наличии блескости в зависимости от яркости поля адаптации:
— — скорость различения;
— контрастная чувствительность

122065/1

личным условиям распределения яркости в поле зрения позволяют оценивать глаз как наиболее совершенный орган чувств.

Свойство глаза приспосабливаться к резким переменам освещения называется адаптацией. При переходе от темноты к свету (световая адаптация) запас светочувствительного вещества в глазе уменьшается, вследствие чего его чувствительность понижается. Процесс световой адаптации происходит сравнительно быстро и в первые 5—8 мин наблюдается значительное снижение чувствительности. При переходе от света к темноте (темновая адаптация) чувствительные вещества в глазе регенерируют, запас их увеличивается и чувствительность глаза повышается. Процесс темновой адаптации, однако, идет значительно медленнее, чем световой: в начале (5—8 мин) наблюдается быстрый рост чувствительности, затем он замедляется и полную чувствительность глаз приобретает лишь через несколько часов.

Устройство глаза и способность его к адаптации позволяют воспринимать широкий диапазон яркости. При малых яркостях (менее 0,01 кд/м²) работают только палочки, при увеличении яркости (от 0,01 до 10 кд/м²) вступают в действие колбочки и работают вместе с палочками. При дальнейшем увеличении яркости (свыше 10 кд/м²) палочки прекращают работу, функционируют только колбочки, а при очень высоких яркостях глаз должен принимать меры к предохранению от ослепления.

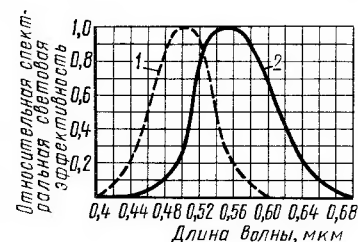


Рис. 1.3. Кривые относительной спектральной световой эффективности:

1 — для ночного зрения, 2 — для дневного

при отделке зданий и интерьеров, освещаемых источниками с различной цветностью излучения.

Кривая относительной видности при малых яркостях, т. е. использовании палочного зрения (рис. 1.3), смещается в сторону коротких волн. Это изменение чувствительности глаза к излучениям различных участков спектра при переходе от больших яркостей к малым известно как эффект Пуркине, который имеет большое практическое значение при выборе освещенностей на улицах городов и в зданиях, а также

при отделке зданий и интерьеров, освещаемых источниками с различной цветностью излучения.

§ 1.2. Контрастная чувствительность зрения

Для того чтобы глаз отличал какую-либо деталь, необходимо иметь различие в цвете или яркости фона и детали. В данном случае имеет значение не абсолютное, а относительное различие в яркостях деталей и фона, называемое контрастом, который равен отношению разности яркостей фона и детали к яркости фона:

$$K = (L_{\phi} - L_d) / L_{\phi}, \quad (1.4)$$

где L_{ϕ} — яркость фона; L_d — яркость детали.

Способность глаза воспринимать наименьшие контрасты называется контрастной чувствительностью. Мерой ее служит обратное значение наименьшего воспринимаемого глазом контраста. Наименьшая, воспринимаемая разность яркостей объекта и фона, выраженная в процентах от яркости фона, называется порогом контрастной чувствительности глаза в данных условиях освещения.

Контрастная чувствительность глаза

$$A = \frac{1}{K_{\text{пор}}} = \frac{L_{\phi}}{|L_{\phi} - L_d|_{\text{мин}}}, \quad (1.5)$$

где $K_{\text{пор}}$ — пороговое значение различаемого контраста.

С увеличением яркости поля адаптации контрастная чувствительность глаза растет (рис. 1.4). Однако этот рост почти останавливается при яркости адаптации фона около 350 кд/м², увеличение яркости до 5000—6000 кд/м² не дает заметного роста контрастной чувствительности, а дальнейшее ее увеличение снижает контрастную чувствительность в связи со слепящим действием больших яркостей.

Пороговый контраст зависит также от углового размера объекта α , под которым принято понимать отношение абсолютного размера объекта к расстоянию его до глаза наблюдателя. Пороговый контраст увеличивается при уменьшении углового размера объекта различения (рис. 1.5).

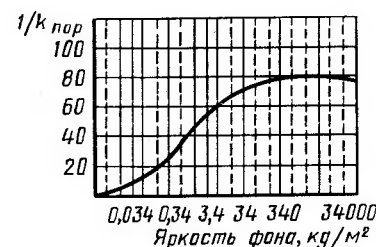


Рис. 1.4. Зависимость контрастной чувствительности глаза от яркости фона

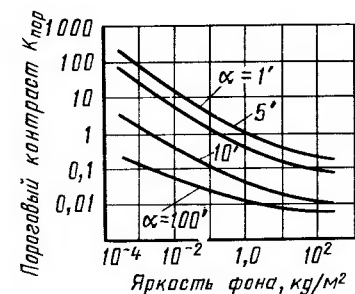


Рис. 1.5. Зависимость порогового контраста от яркости фона для объектов различения различных угловых размеров

При больших размерах объекта различения ($\alpha \geq 20^\circ$) и значениях яркости фона, превышающих 100 кд/м², пороговый контраст практически постоянен и равен своему минимально возможному значению. Диапазон яркости фона, в пределах которого пороговый контраст можно считать постоянным, называется областью Вебера — Фехнера.

§ 1.3. Разрешающая способность глаза

Разрешающая способность глаза характеризуется минимальным угловым размером пространства между двумя исследуемыми объектами (квадратами, прямоугольниками, линиями) и определяется отношением размера промежутка к расстоянию от него до глаза.

Разрешающую способность глаза, равную приблизительно 1/3500, принято считать нормальной, что соответствует минимальному разрешающему углу в 1'.

При благоприятных условиях освещения у человека с нормальным зрением минимальный разрешающий угол может уменьшиться до 0,7–0,8'.

Разрешающая способность глаза имеет большое значение при необходимости различения мелких объектов.

Измерение разрешающей способности (или обратной ей величины, называемой остротой зрения) проводится с помощью специальных таблиц на которых напечатаны буквы, цифры либо так называемые кольца Ландольта (рис. 1.6) раз-

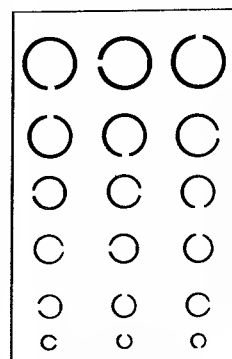
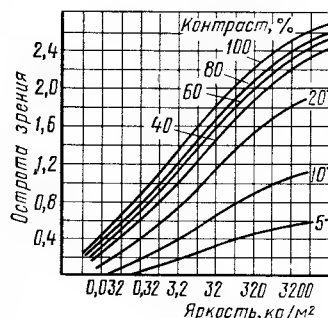


Рис. 1.6. Таблица с кольцами Ландольта для определения остроты зрения

Рис. 1.7. Острота зрения в зависимости от яркости фона при различном контрасте деталей с фоном



личных размеров и толщины. Знаки одинакового размера напечатаны в отдельных строках. Размеры выбраны так, чтобы буквы или знаки были видны при указанном в таблице расстоянии (обычно 5 м) под различными углами, также указанными на полях таблицы. При измерении разрешающей способности глаза таблицу укрепляют на стене или специальном щите. Наблюдатель располагается на расстоянии 5 м от таблицы, на которой создана равномерная без бликов освещенность. Во время исследования испытуемому предлагают назвать букву, знак или направление разрыва кольца Ландольта. Наименьший по размерам знак таблицы, который испытуемый называет правильно, позволяет судить о разрешающей способности его зрения.

На рис. 1.7. показана зависимость остроты зрения от яркости поля адаптации при различном контрасте деталей с фоном. Из кри-

вых видно, что острота зрения возрастает особенно при переходе от малых яркостей фона (долей кд/м²) к яркостям 500–700 кд/м². Дальнейшее увеличение яркости не дает значительного роста остроты зрения. Кривые свидетельствуют также о большом влиянии на остроту зрения контраста деталей с фоном.

§ 1.4. Скорость зрительного восприятия

Скорость зрительного восприятия характеризуется значением, обратным наименьшему времени, необходимому для различения рассматриваемого объекта. Она зависит от яркости фона, на котором рассматривается объект, его размера, а также контраста с фоном.

Определение условий освещения с помощью скорости различения обычно применяется при исследованиях в условиях лаборатории, так как используемая при этом аппаратура неудобна на производстве. Основным элементом в таких установках является тахистоскоп. Его помещают между исследуемым объектом различения и наблюдателем таким образом, что последний может видеть предъявляемый для различения объект лишь за время прохождения перед ним раскрытия тахистоскопа.

Время экспозиции различаемой детали может изменяться в зависимости от числа оборотов и раскрытия секторного отверстия в диске. Обычно скорость различения изменяется в пределах 1–1200 с⁻¹. Объектами различения чаще всего служат кольца Ландольта, разрывы которых направлены в разные стороны. Зрительной задачей в опытах с кольцами Ландольта является определение направления разрыва кольца. Вместо кольца Ландольта могут быть выбраны объемные, геометрически правильные тела (куб, цилиндр, конус, призма и т. п.). Связь между освещенностью фона (поля зрения) и скоростью различения при наблюдении черных объектов на белом фоне показана на рис. 1.8. Из рисунка видно, что скорость различения значительно растет при увеличении освещенности и ее рост практически прекращается при освещенности 1000 лк.

Вестон исследовал «зрительную» работоспособность по скорости и вероятности различения направления разрыва колец Ландольта при кратковременном их наблюдении в зависимости от уровня освещенности и контраста объекта с фоном.

Зрительная задача состояла в вычеркивании колец с заданным направлением разрыва. Зрительная работоспособность оценивалась по формуле

$$\eta = (N / T) (n' / n),$$

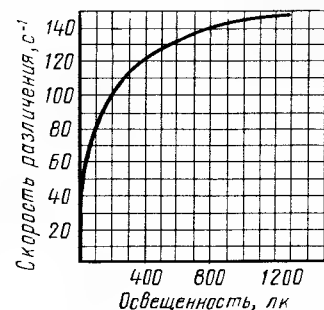


Рис. 1.8. Зависимость скорости различения от освещенности фона. Рассматривается черный кружок размером 2,5' на фоне с коэффициентом отражения 0,8

где N — общее число просмотренных колец; T — время просмотра; n' — количество колец с заданной ориентацией; n — количество правильно опознанных колец.

§ 1.5. Устойчивость ясного видения и адиспаропия

Способность глаза длительно сохранять в поле зрения фиксированные глазом детали называется *устойчивостью ясного видения*. При длительном сосредоточенном рассматривании какого-либо мелкого предмета происходит утомление зрения. Оно характеризуется тем, что предмет виден отчетливо лишь временами, сменяющимися периодами, при которых он становится расплывчатым и неясным. Это объясняется утомлением глазных мышц, стремящихся при рассматривании предмета удержать глаз в положении, при котором изображение оставалось бы на одном и том же месте сетчатки.

При изменении места изображения фиксируемого предмета на сетчатке глаза требуется некоторое время для достижения ясного видения. Количественным показателем устойчивости ясного видения принято считать отношение времени ясного видения ко всему времени сосредоточенного рассматривания мелкого предмета (обычно 3 мин).

Исследованиями доказано, что на устойчивость ясного видения в значительной степени влияют условия освещения, характер выполняемой работы, ее продолжительность. Поэтому определение устойчивости ясного видения (у.я.в.) часто проводится для оценки зрительной работоспособности в различных осветительных условиях, а изменение этой функции в процессе работы является наглядной и удобной характеристикой утомления зрения.

Определение у.я.в. тех деталей, которые должны различаться в процессе работы, затруднительно, а иногда невозможно. В качестве объектов различения подбирают специальные тесты, значения у.я.в. которых ничего не говорит экспериментатору. Поэтому

исследования с у.я.в. основаны на сравнении нескольких ее значений: при разных вариантах освещения, до и после работы и т. д. При таком использовании у.я.в. является одной из наиболее важных и широко используемых характеристик гигиенической оценки условий освещения. Характер зависимости у.я.в. от освещенности поля зрения (по усредненным данным) показан на рис. 1.9. Значительный рост этой функции зрения достигается в зоне до 200 лк. Необходимо отметить, что в зависимости от характера зрительной работы и качества освещения значения у.я.в. могут отличаться от показанных на рис. 1.9.

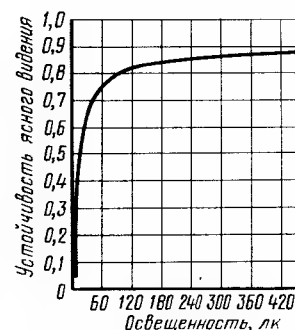


Рис. 1.9. Зависимость устойчивости ясного видения от освещенности фона

Во многих исследованиях широко распространен метод оценки зрительного утомления с помощью адиспаропии. В основе этого метода лежит временное снижение устойчивости различительной способности глаза при длительной фиксации глазом контрастных цветных или ахроматических полей. Для определения значения адиспаропии может применяться круглое поле размером 70 мм, разделенное на две равные части, контраст между которыми равен 0,8 на фоне с коэффициентом отражения $\rho = 0,75$.

Критерием оценки осветительных условий служит отношение времени ясного видения линии раздела полей к полному времени его фиксации, которое, как и при определении устойчивости ясного видения, принимается равным 3 мин.

§ 1.6. Видимость объектов

Для оценки эффективности освещения общим показателем, который учитывает условия освещения и его изменение, может характеризовать условия работы зрения, является *видимость*.

При видимости, меньшей единицы, рассматриваемый объект не будет виден, при ее значении, равном единице, объект будет едва различим. Полное различение объекта возможно только при значении видимости, большем единицы. Наиболее правильным методом оценки видимости является метод определения *запаса различимости*. Такое сравнение возможно по времени различения: если объект должен быть различен за 0,1 с, а различается за 0,05 с, то видимость при этом составит 2. Если в данных условиях может быть различим контраст объекта с фоном, равный 0,2, а фактический составляет 0,6, то видимость равна 3.

Пользуясь методом *сравнения контрастов объекта с фоном*, можно определить различимость числом пороговых контрастов в контрасте объекта с фоном, имеющем место в исследуемом варианте, что и служит видимостью, которая определяется из соотношения

$$V = K/K_{\text{пор}}, \quad (1.6)$$

где K — фактический контраст объекта с фоном; $K_{\text{пор}}$ — пороговый, т. е. наименьший различимый, контраст.

Это определение подсказывает и способ измерения видимости: следует тем или иным методом уменьшить видимый контраст K , доведя его до $K_{\text{пор}}$. Зная, во сколько раз пришлось уменьшить K , можно определить V .

Видимость зависит от яркости рассматриваемого объекта и фона, на котором он виден; угловых размеров, формы и времени наблюдения; состояния адаптации и световой обстановки.

Искусственное снижение видимости осуществляется специальными приборами, называемыми *измерителями видимости*. Они могут быть рекомендованы для гигиенической оценки осветительной установки.

Предложены и применяются разные типы измерителей видимости. Так, в приборе М. Лекиша и Ф. Мосса доведение видимости до порогового значения достигается с помощью фотометрического клина с плавно изменяющимся коэффициентом пропускания, помещаемого между глазами наблюдателя и объектом различения.

В измерителе видимости А. А. Труханова между глазом и объектом помещается прозрачная стеклянная пластинка, в которой отражается кружок из молочного стекла регулируемой яркости. Это отражение образует в центральном поле зрения световую дымку, снижающую видимый контраст между деталью различения и фоном и доводящую его до порогового значения.

В нашей стране распространен бинокулярный поляризационный измеритель видимости системы проф. Л. Л. Дашкевича, принцип работы которого основан на доведении кажущегося контраста объекта с фоном, рассматриваемого через прибор, до пороговых значений путем искусственного уменьшения яркости изображения объекта при постоянной яркости фона. При рассматривании объекта через оптическую систему прибора благодаря двупреломляющей призме в поле зрения появляются два изображения объекта, образованные лучами света, поляризованными во взаимно перпендикулярных плоскостях. При повороте поляроида одно изображение объекта постепенно ослабевает, а другое усиливается, яркость же фона остается постоянной. При некотором положении поляроида, зависящем от контраста объекта с фоном и его яркости, видимость одного изображения объекта можно довести до порога (оно становится едва заметным). При этом показание прибора дает значение видимости в условных единицах.

Измеритель позволяет оценить видимость V числом пороговых контрастов $K_{\text{пор}}$ в контрасте объекта с фоном. Недостатки этого прибора следующие: 1) изменение видимости производится в условиях яркости поля зрения, хотя и постоянной, но значительно пониженной по сравнению с ее фактическим уровнем; 2) оправа прибора ограничивает поле зрения: в той или иной степени исключает влияние слепящих источников и периферических полей адаптации; 3) время экспозиции различаемого объекта не может регулироваться; 4) при наличии в поле зрения бликов, вследствие зеркального отражения света от рассматриваемого объекта и фона, прибор может дать ошибочные результаты: это вызвано тем, что зеркально отраженные лучи света оказываются частично или полностью поляризованными. В таком случае поляроид и двупреломляющая призма могут погасить блики, и видимость окажется выше, чем в действительности.

§ 1.7. Видимость объектов в условиях неравномерного распределения яркости

При обычных условиях работы глаза видимость объектов, как правило, осуществляется на фоне неравномерной яркости. Распределение яркости в поле зрения определяется не только различием коэффициентов яркости отдельных участков поля зрения, но также

и распределением светового потока по освещаемым поверхностям.

Распределение яркости имеет особое значение для промышленных осветительных установок, где условия освещения влияют на работоспособность зрения, а следовательно, на уровень производительности труда.

Этим вопросам посвящены многие исследования, наиболее полное и критическое обобщение которых дано Ц. И. Кроль. В ее трудах рассмотрено влияние размера центральной зоны поля зрения и соотношение ее яркости с яркостью периферии на функции зрения и зрительную работоспособность.

На основании многочисленных исследований установлено, что неосвещенная периферическая часть поля зрения (яркость $L_p = 0$) вызывает снижение функций зрения и отрицательно влияет на производительность труда. Это снижение зависит от различных параметров осветительной установки (углового размера центральной части поля зрения, его яркости, исследуемых функций и выбранных тестов) и колеблется в пределах от 30 до 70%.

Анализ проведенных исследований показывает снижение функций зрения при наличии темного окружения. Однако большее снижение происходит при яркости периферии поля зрения большей, чем яркость рабочего места. Во время выполнения зрительной работы линия зрения не сохраняет постоянного направления. Поэтому при неравномерном распределении яркости в поле зрения могут происходить процессы переадаптации с одной яркости на другую.

В процессе переадаптации повышается пороговый контраст; с увеличением времени переадаптации возрастает время восстановления чувствительности зрения.

Сравнение индуктивного влияния неравномерного распределения яркости в поле зрения и переадаптации показывает, что первое оказывает значительно большее отрицательное влияние на функции зрения, чем переадаптация.

На основании исследований, проведенных В. В. Мешковым, Лекиш и Мосс, Э. А. Котовой и др., можно прийти к такому выводу: *всякое неравномерное распределение яркости в поле зрения вызывает снижение функций зрения*. Особенно заметное снижение наблюдается при яркости периферии L_p , большей яркости центра L_c . Функцией, остро реагирующей на неравномерное распределение яркости в поле зрения, является *контрастная чувствительность*.

Особенно резкое снижение видимости наблюдается при появлении в поле зрения рабочих пятен большой яркости, которыми являются незащищенные источники света или светильники с высокой яркостью. Чрезмерно яркие части источников света и светильников (прямое действие), а также их зеркальные отражения (отраженное действие), попадающие в поле зрения работающих, вызывают ухудшение условий работы зрения. Это свойство источников света и светильников называют *блескостью*.

Вызываемое блескостью состояние зрения, связанное с ухудшением его нормальной работы, принято называть *ослепленностью*.

Блескость осветительных установок определяется: 1) яркостью видимых источников света и светящихся частей светильников; 2) силой света блеского источника в направлении к глазу наблюдателя; 3) размерами светящихся частей блеских источников.

Однако слепящее действие прямой блескости зависит и от других факторов, а именно: 1) от расположения светильников в поле зрения, определяемого углом действия, зависящим от высоты подвеса светильника и его защитного угла; 2) яркости фона, на котором виден блеский источник; 3) освещенности на зрачке, создаваемой светильниками.

Отрицательное действие блескости на зрение (ослепленность) тем больше, чем точнее выполняемая зрительная работа.

Во всех правилах и нормах искусственного освещения предусматриваются меры для ограничения блескости.

§ 1.8. Влияние блескости на зрительные функции

Наличие в поле зрения блескости отрицательно воздействует на зрение.

Вызванное этой блескостью состояние ослепленности эквивалентно появлению в поле зрения вуалирующей пелены, яркость которой β накладывается на яркость фона и детали, уменьшая видимый контраст между ними и приводя к уменьшению видимости.

В качестве критерия ослепленности, вызванной блеским источником света, проф. В. В. Мешков предложил принять изменение пороговой разности яркости между объектом и фоном при наличии блескости.

Было введено также понятие о коэффициенте ослепленности для характеристики изменения видимости вследствие действия блескости.

Коэффициент ослепленности S определяется отношением пороговых разностей яркости при наличии и отсутствии блескости в поле зрения

$$S = \Delta L_s / \Delta L, \quad (1.7)$$

где ΔL_s и ΔL — пороговые разности яркостей при наличии и отсутствии блескости.

Коэффициент ослепленности при слепящей яркости не более 10^6 кд/м²

$$S = 1 + (3 \lg L - 8,54) \frac{I \cos \theta}{L^2 \theta^2 (L_\phi + \gamma)}, \quad (1.8)$$

где L — яркость блеского источника, кд/м²; I — сила света источника в направлении глаз наблюдателя, кд; θ — угол действия блеского источника (т. е. угол между линией зрения в направлении источника и горизонтальной линией зрения), град; L_ϕ — рас-

стояние от глаза до источника блескости, м; L_ϕ — яркость фона, на котором наблюдается блеский источник, кд/м²; $\gamma = 0,207$ — яркость собственного света сетчатки, кд/м².

Если $L > 10^6$ кд/м², то

$$S = 1 + 9,46 \frac{I \cos \theta}{L^2 \theta^2 (L_\phi + \gamma)}. \quad (1.9)$$

На рис. 1.10 показано относительное изменение функций зрения под влиянием блескости (при отсутствии блескости значения функций зрения приняты за 100%). Из кривых видно, что при наличии блескости наибольшему снижению подвергается контрастная чувствительность; снижение скорости различения заметнее при работе, требующей большего напряжения зрения; с увеличением яркости поля адаптации действие блескости уменьшается. Отрицательное действие блескости проявляется и до возникновения ослепленности, когда при относительно небольшой блескости появляются неудобства в работе или так называемый зрительный дискомфорт, приводящий к утомлению зрения.

Как показали исследования Л. Холлэдей, различные стадии дискомфорта зависят от соотношения блеского источника и фона, на котором виден источник, а также от телесного угла ω , под которым виден из данной точки источник света. Им предложена следующая формула для оценки ощущения зрительного дискомфорта и ослепленности в результате действия блескости:

$$k = \lg L + 0,25 \lg \omega - 0,3 \lg L_\phi - 0,35, \quad (1.10)$$

где k — коэффициент, характеризующий действие блескости; ω — телесный угол, под которым виден источник блескости, ср.

Степень действия блескости количественно характеризуется следующими значениями k : 1) не более 1,2 — условия считаются комфортными; 2) 1,9 — появляются пороговые условия между ощущением комфорта и дискомфорта; 3) 2,2–2,4 — создается неприятное ощущение ослепленности; 4) при $k = 2,6$ и выше, ослепленность становится нетерпимой.

Предельное значение яркости блеского источника для пограничных условий комфорт — дискомфорт выражается зависимостью

$$L_{k-d} = 178 L_\phi^{0,3} / \omega^{0,25}. \quad (1.11)$$

Наличие блеских источников в поле зрения работающего отрицательно сказывается на производительности труда.

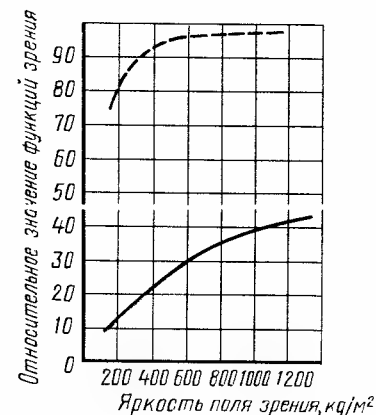


Рис. 1.10. Относительные значения функций зрения при наличии блескости в зависимости от яркости поля адаптации:
— скорость различения;
— контрастная чувствительность

122065

§ 1.9. Постоянство освещенности во времени

Изменения яркости во времени вызывают не только необходимость переадаптации, но и неприятный психологический эффект, отвлекая и утомляя внимание работающих. Причинами такого изменения могут быть колебания напряжения в сети и раскачивание светильников. При колебании освещенности (яркости) рабочих поверхностей ухудшается видимость деталей ввиду ограничения времени их наблюдения, вызванного периодическим резким снижением яркости рассматриваемых деталей.

Колебания же освещенности поля зрения из-за раскачивания светильников недопустимы, так как колеблющиеся светильники создают не только периодическое изменение освещенности, но и подвижные тени в поле зрения.

Особо следует остановиться на явлении *стробоскопического эффекта*, возникающего в условиях освещения источниками света, излучающими световой поток, изменяющийся во времени. Такое излучение свойственно газоразрядным источникам света — люминесцентным лампам и в еще большей степени ртутным лампам с исправленной цветностью (ДРЛ). Объясняется это безынерционностью излучения, вызванного электрическим разрядом в парах ртути, и зависящего от него процесса излучения люминофора, обладающего лишь незначительным послесвечением. Таким образом, при питании газоразрядных ламп переменным током (50 Гц) излучаемый ими световой поток непостоянен во времени, ослабляясь и вновь усиливаясь до 100 раз/с. Эти пульсации потока создают соответствующие *пульсации освещенности*. Одним из наиболее заметных проявлений стробоскопического эффекта оказываются явления, наблюдаемые при фиксировании в условиях пульсирующей освещенности вращающихся или передвигающихся предметов. Естественно, что предметы лучше видны в моменты, когда значения освещенности достигают максимума, а это происходит 100 раз/с.

Поэтому предметы, быстро движущиеся поступательно, представляются имеющими многократные контуры. В зависимости от частоты вращения предметы могут казаться остановившимися или изменившими скорость и направление вращения. Иллюзия остановки вращения предметов может быть непосредственной причиной травматизма.

Ошибочно считать, что стробоскопический эффект вреден только при наличии в поле зрения движущихся предметов. Практика показывает, что особенно резко проявляется отрицательное влияние стробоскопического эффекта у работников умственного труда: чертежников, конструкторов, проектировщиков и т. д., что, вероятно, связано с подвижностью осей зрения.

§ 1.10. Влияние освещения на производительность труда

Для зрительной работоспособности большое значение имеет освещение. В светотехнической практике важно знать, какие именно характеристики освещения или их сочетания и в какой мере

влияют на работу зрения, а также какими средствами осветительной техники можно достигнуть наименьшего утомления зрения в течение рабочего времени. Перечисленным вопросам посвящено большое количество исследований — гигиенических, физиологических и светотехнических.

Влиянию яркости, или освещенности, на работу зрения и производительность труда уделяется максимальное внимание. Существенно важным в данном вопросе является положительное влияние увеличения освещенности на такие характеристики, как острота зрения, устойчивость ясного видения, скорость различения, контрастная чувствительность. Однако это влияние различно и зависит от геометрических и оптических характеристик различаемых объектов, а также от качества освещения.

Наряду с перечисленными факторами пороговый контраст зависит также от времени, в течение которого глаз фиксирует наблюдаемый объект. С сокращением времени наблюдения повышается пороговый контраст, т. е. усложняется восприятие объекта (рис. 1.11).

Для обеспечения заданного уровня видимости объекта необходима определенная яркость фона, зависящая в реальных условиях от уровня освещенности и коэффициента отражения (коэффициента яркости) рабочей поверхности. При этом ее освещенность должна быть тем больше, чем точнее зрительная работа (меньше угловой размер объекта), чем меньше контраст объекта с фоном и коэффициент отражения рабочей поверхности.

Для определения яркости фона, обеспечивающей заданный уровень видимости объекта определенного углового размера, пользуются номограммами (рис. 1.12). На рисунке по оси ординат отложена яркость фона L_f , кд/м², по оси абсцисс — угловой размер объекта различения α в угловых минутах. В координатах L_f , α нанесены кривые равных значений видимости.

Вопрос о влиянии осветительных условий, например освещенности рабочей поверхности, на производительность труда является важнейшим в проблеме промышленного освещения. Проведенные исследования подтвердили, что с увеличением освещенности рассматриваемой поверхности производительность труда повышается особенно при переходе от относительно небольших освещенностей, измеряемых десятками люксов, к освещенности 500—600 лк, а при точных работах 1000 лк и более. Дальнейшее увеличение освещенности дает уже меньший рост производительности.

Известно, что улучшение условий освещения промышленных предприятий ведет к росту производительности труда, снижению брака и улучшению качества продукции, заметному снижению себестоимости, а также к улучшению условий труда — снижению

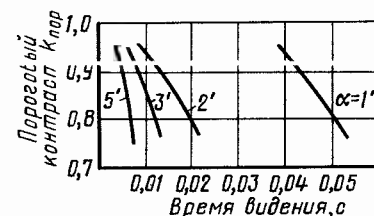


Рис. 1.11. Зависимость порогового контраста от времени наблюдения

утомления и травматизма, сохранности зрения, росту культуры производства.

Оптимальную яркость, обеспечивающую минимальное значение порогового контраста, можно определить согласно графикам проф. А. А. Труханова, показанным на рис. 1.13. По оси абсцисс отложена яркость в кд/м^2 , по оси ординат — значения пороговых контрастов. Семейство кривых, изображенных на графике, показывает изменение порогового контраста в зависимости от углового размера объекта и яркости фона, на котором он рассматривается.

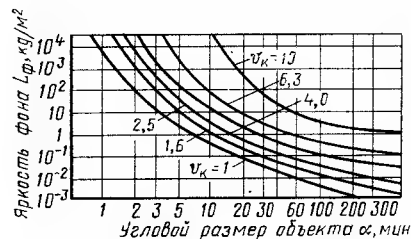
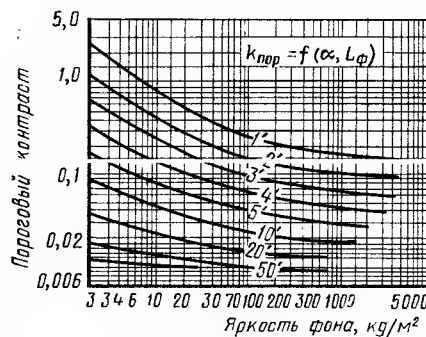


Рис. 1.12. Номограмма для расчета видимости

Рис. 1.13. Изменение порогового контраста в зависимости от углового размера объекта и яркости фона, на котором он рассматривается



Освещение прежде всего должно обеспечить заданный осветительный эффект — минимальную установленную мощность при минимальных издержках производства.

По теории проф. А. А. Труханова, наивыгоднейшие осветительные условия определяются минимальной себестоимостью единицы продукции, зависящей от освещения.

Себестоимость единицы продукции

$$S = \frac{И}{N} = \frac{A + M + 3 + T + Э_с + Э_0 + Н}{N}, \quad (1.12)$$

где И — издержки производства; N — объем производства; А, М, 3, Т, Э_с, Э₀, Н — издержки по амортизации, материалам и полуфабрикатам, по зарплате, топливу, силе, освещению и накладным расходам.

Если производительность труда возрастет на p_x долей единицы, то себестоимость

$$S'_{p_x} = \frac{A + (1 + p_x)M + k3 + cT + mЭ_с + nЭ_0 + Н}{(1 + p_x)N}. \quad (1.13)$$

Отношение $k/(1 + p_x) = 1$, если с ростом производительности труда норма выработки не пересматривается, если же норма пересматривается, то $k < 1,0$. Рассмотрим динамику изменения отношения $m/(1 + p_x)$. Составляющая по расходу электроэнергии на силу

$$Э_с = (W_с t_м + W_x a t_p + W_d t_n) h, \quad (1.14)$$

где $W_с$ и W_x мощность загруженного электродвигателя и электродвигателя при холостом ходе; $t_м$ и t_p — машинное и ручное время; a — коэффициент, учитывающий время, на которое двигатель отключается; W_d — мощность других потребителей, отнесенная к рабочему месту; t_n — норма времени на единицу продукции; h — тариф на электроэнергию.

Анализ этого выражения показывает, что рост производительности труда снижает удельные расходы электроэнергии. Таким же образом можно показать, что при росте производительности труда снижается удельный расход топлива. Издержки же на освещение будут возрастать в связи с ростом производительности труда.

Динамика себестоимости продукции показана на рис. 1.14.

Из формулы (1.14) и рис. 1.14 можно заключить, что части составляющих себестоимости (амортизация, накладные расходы, расходы на силу и тепло) при росте производительности труда снижаются; зарплата остается постоянной или снижается; расходы на освещение растут. Это указывает на наличие у кривой, отображающей динамику себестоимости, отчетливого минимума, характеризующего наивыгоднейшие осветительные условия. Выбор условий, отклоняющихся от наивыгоднейших в ту или иную сторону, экономически невыгоден.

В общем виде зависимость производительности труда от освещенности на основе обобщения большого количества экспериментальных исследований показана на рис. 1.15.

Анализ кривых зависимости роста производительности труда от освещенности показал, что эта зависимость имеет логарифмический характер.

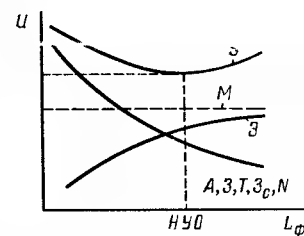


Рис. 1.14. Динамика изменения себестоимости продукции. Наивыгоднейшие условия освещения определяются минимумом себестоимости

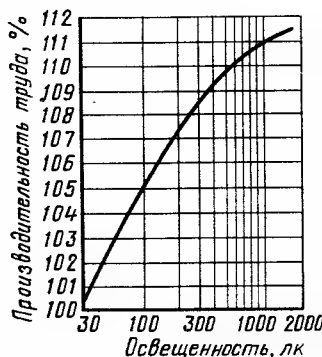


Рис. 1.15. Зависимость производительности труда от освещенности

Глава 2

НОРМИРОВАНИЕ ОСВЕЩЕНИЯ

Основной целью нормирования осветительных установок является обеспечение единого подхода в осуществлении оптимальных условий работы зрения, достижение необходимой видимости объектов различения.

Для получения требуемого уровня видимости устанавливают различные уровни освещенности для зрительных работ разной точности. Чем меньше размер объекта, его контраст с фоном и коэффициент отражения освещаемой поверхности, тем большим должен быть выбран уровень освещенности.

Выбор уровня видимости или зрительной работоспособности, по которым проводится нормирование освещенности, должен осуществляться с учетом экономических показателей осветительных установок и реальных энергетических возможностей.

Таким образом, задачей нормирования осветительных установок является регламентация не только уровней видимости и работоспособности, но и расхода электроэнергии, материалов и оборудования, используемых для освещения.

§ 2.1. Выбор параметров нормирования

Нормирование осветительных установок любого назначения начинается с выбора параметров, определяющих их эффективность. При этом нормирование может быть *прямым* и *косвенным*.

При прямом регламентируются величины, непосредственно определяющие эффективность осветительной установки. К ним относятся производительность труда; уровень видимости или различимости, обеспечивающий решение зрительной задачи с заданной достоверностью; зрительная работоспособность; светлота окружающего пространства, определяющая уровень насыщенности помещения светом, и ряд других параметров. Это нормирование является наиболее совершенным. Однако отсутствие достаточных данных, которые позволили бы перейти от нормируемого уровня видимости, зрительной работоспособности или светлоты к фотометрическим характеристикам осветительной установки, затрудняет в настоящее время его применение. Лишь в отдельных случаях зависимость эффективности осветительной установки можно определить экспериментально по этим критериям.

Косвенное нормирование осветительных установок основано на регламентации фотометрических характеристик, а также их распределений и соотношений в освещаемом пространстве во времени и по спектру. Это нормирование менее совершенно, но более приемлемо для практики проектирования и имеет ряд особенностей: фотометрические характеристики (освещенность, яркость освещаемой поверхности и т. д.), определяющие эффективность осветительной установки, связаны с ней нелинейно; характер этой нелинейности неодинаков для различных производственных процессов; эффективность осветительной установки зависит как от количественного значения, так и от качественных показателей выбранной фотометрической характеристики.

Качество освещения определяется свойствами оптического излучения, используемого в осветительной установке, и характеризуется распределением в пространстве, во времени и по спектру.

От пространственного распределения излучения, падающего на освещаемый объемный предмет, зависит расположение света и теней на его поверхности и окружающем фоне. Это распреде-

ление определяет яркостный контраст и угловой размер освещаемого рельефного объекта.

Яркостный контраст и угловой размер рельефного объекта наблюдения, зависящие от условий освещения и наблюдения, называют эквивалентным контрастом и эквивалентным угловым размером объекта наблюдения.

Распределение излучения во времени также влияет на эффективность осветительной установки, так как зрение обладает инерционным свойством и имеют место процессы адаптации, возникающие при изменении яркости поля зрения.

В ряде случаев спектральный состав излучения оказывает решающее влияние на контраст объекта наблюдения, отличающегося по цветности от фона. При разноцветности объекта наблюдения и фона правильно выбранное по спектральному составу излучение существенно увеличивает различие объекта и фона не только по цветности, но и по яркости. Распределение излучения по спектру может оказывать также большое влияние на цвет освещаемых поверхностей, а следовательно, на правильное цветовое восприятие окружающей обстановки.

В осветительной технике все показатели, определяющие эффективность освещения за счет качества излучения, попадающего в глаз наблюдателя, называют *качественными характеристиками освещения*.

К ним можно отнести распределение: яркости по поверхности объекта наблюдения и прилегающему к нему участку фона — микрораспределение; яркости в поле зрения наблюдателя — макрораспределение; светового потока во времени, зависящее от свойств источников света, способов их включения и качества питающей их электрической энергии; излучения по спектру.

Эффективность осветительной установки определяют не только количественные, но и качественные показатели (характеристики). Учитывая это, при нормировании и проектировании осветительных установок эти показатели рассматриваются как единые.

Так как уровень нормируемых характеристик определяет потребность в энергии, материалах и оборудовании, при нормировании освещения учитываются эффективность осветительной установки и ее экономика.

Таким образом, результатом нормирования осветительных установок должны являться, с одной стороны, обеспечение надлежащего уровня количественных и качественных характеристик освещения, с другой — регламентация расходования энергии, материалов и оборудования, а также средств на эксплуатацию установок.

§ 2.2. Классификация осветительных установок и основные требования к ним

Впервые в нашей стране нормы освещения промышленных предприятий были введены в 1928 г. Эти нормы были разработаны проф. П. М. Тиходевым и распространялись только на искусственное освещение.

В последующие годы нормы освещения несколько раз пересматривались в сторону повышения и усовершенствования их структуры. Введенные в действие с 1 октября 1971 г. нормы проектирования искусственного освещения отличались от предшествующих повышением уровней освещенности для точных зрительных работ, а также требованиями к качеству освещения рабочих мест.

Строительные нормы и правила по проектированию естественного и искусственного освещения (СНиП II-4—79) объединены в одном документе.

Эти нормы должны отвечать нормам проектирования зданий, рассчитанным на широкое применение промышленных способов строительства и дальнейшее его удешевление. Удешевление строительства зданий должно сопровождаться улучшением архитектурного качества интерьера и качества освещения. Поэтому и нормы освещения должны обязательно учитывать не только генеральную линию в проектировании (блокирование, большая протяженность зданий и т. д.), но также и соблюдение закона модуля при использовании осветительных устройств встроенного вида. Эти тенденции находят свое выражение в применении совмещенного освещения (естественного и искусственного) зданий. Сближение качества освещения, условий зрительной работы и восприятия интерьеров при переходе от естественного освещения к совмещенному и искусственному стало возможным благодаря применению новых источников света, позволяющих создавать в помещениях искусственный дневной свет, по уровню освещенности и спектру мало отличающийся от естественного.

По приемам освещения установки подразделяют на установки естественного, искусственного и совмещенного освещения, а по назначению — на четыре основные группы: 1) для освещения производственных и вспомогательных помещений промышленных предприятий; 2) для освещения площадок промышленных предприятий и мест производства работ, расположенных вне зданий; 3) для освещения общественных и жилых зданий; 4) для освещения улиц, дорог и площадей населенных пунктов.

Основные требования к установкам *первой* группы заключаются в создании условий освещения на рабочем месте, обеспечивающих необходимый уровень видимости объекта различения при выполнении технологического процесса. Для установок *второй* группы предъявляются аналогичные по характеру требования, но уровни количественных и качественных показателей являются более низкими. В установках *третьей* группы освещение должно удовлетворять художественно эстетическим требованиям. Поэтому в установках предусматривается не только обеспечение количественных характеристик освещения на рабочем месте, но и насыщенность всего помещения светом.

Основные требования к установкам четвертой группы определяются особенностями зрительной работы водителей транспорта,

которые должны различать объекты сравнительно больших угловых размеров в ограниченное время.

Строительные нормы и правила (СНиП II-4—79) состоят из пяти разделов: общие положения; естественное; совмещенное; искусственное и наружное освещение городов, поселков и сельских населенных пунктов. Рассмотрим их подробнее.

§ 2.3. Общие положения

В разделе, включающем область распространения норм, приведено деление помещений по условиям зрительной работы на четыре группы: I—помещения, где производится различение объектов зрительной работы, при фиксированном направлении зрения на рабочую поверхность (производственные помещения, рабочие кабинеты, конструкторские бюро, кабинеты врачей и т. д.); II—помещения, в которых производится различение объектов при нефиксированном зрении и обзор окружающего пространства (торговые залы магазинов, столовые, выставки, картинные галереи и т. п.); III—помещения, где производится обзор окружающего пространства при кратковременном различении объектов (концертные залы, фойе-театров и кинотеатров и др.); IV—помещения, где происходит общая ориентировка (проходы, коридоры, гардеробы производственных зданий и т. п.).

Освещенность рабочей поверхности. Видимость объекта определяется угловым размером объекта различения, контрастом объекта с фоном, яркостью фона.

Для обеспечения заданной видимости объектов разных размеров и контраста с фоном нормируемая яркость должна быть тем больше, чем меньше угловой размер объекта и контраст его с фоном.

Из-за трудностей, возникающих при расчете и измерении яркости в практических условиях, нормы регламентируют не яркость, а освещенность при одновременной регламентации коэффициента отражения фона.

Такое решение вопроса справедливо для поверхностей с диффузным и непригодно для поверхностей с направленным отражением. Учитывая, что фон с направленным отражением в производственных условиях встречается редко, это допущение может быть принято. Наряду с перечисленными факторами при нормировании освещенности учитывают дополнительные условия: длительность напряженной зрительной работы; повышенную опасность травматизма, специальные повышенные санитарные требования и т. д.

В табл. 2.1 приведены нормы наименьшей освещенности рабочих поверхностей в производственных помещениях. Все работы по точности разделены на шесть разрядов в зависимости от размера объекта различения при условии, что расстояние от объекта

Таблица 2.1

Характеристика зрительной работы	Наименьший размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Контраст объекта различения с фоном	Характеристика фона	Искусственное освещение		Естественное освещение				Совмещенное освещение	
						Освещенность, лк	при комбинированном освещении	при верхнем или боковом освещении	при верхнем или боковом освещении	в зоне и боковым освещением СССР	в зоне и боковым освещением СССР	при верхнем или боковом освещении	при боковом освещении
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Наивысшей точности	Менее 0,15	I	a	Малый	Темный	500	1500						
			б	Малый Средний	Средний Темный	400	1250						
			в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Темный	250	750	10	2,8	3,5	6	1,7	2
			г	Средний Большой	Светлый Средний	150	400						
Очень высокой точности	0,15—0,3		a	Малый	Темный	400	1250						
			б	Малый Средний	Средний Темный	300	750						

Высокой точности	Свыше 0,3 до 0,5	II	в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Темный	200	500	7	2	2,5	4,2	1,2	1,5
			г	Средний Большой	Светлый Средний	100	300						
		III	a	Малый	Темный	200	500						
			б	Малый Средний	Средний Темный	100	300						
Средней точности	Свыше 0,5 до 1	IV	в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Темный	75	300	5	1,6	2	3	1	1,2
			г	Средний Большой	Светлый Средний	40	200						
			a	Малый Средний	Темный Средний Темный	750	300	4	1,2	1,5	2,4	0,7	0,9
			б	Малый Средний	Средний Темный	500	200						
			в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Темный	40	200						
			г	Средний Большой	Светлый Средний	30	150						

Продолжение табл. 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Малой точности	Свыше 1 до 5	V	а	Малый	Темный	300	200						
			б	Малый Средний	Средний Темный	200	150						
			в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Темный	—	150	3	0,8	1	1,8	0,5	0,6
			г	Средний Большой Большой	Светлый Светлый Средний	—	100						
Грубая (очень малой точности)	Более 5	VI	—	Независимо от характеристик, фона и контраста объекта с фоном		—	150	2	0,4	0,5	1,2	0,3	0,3
Работа со светящимися материалами в горячих цехах	Более 0,5	VII	—	То же		—	200	3	0,8	1	1,8	0,5	0,6
Общее наблюдение за ходом производственного процесса Постоянное Периодическое при постоянном пребывании людей в помещении Периодическое при периодическом пребывании людей в помещении		VIII	а	»		—	75	1	0,2	0,3	0,7	0,2	0,2
			б	»		—	50	0,7	0,2	0,2	0,5	0,2	0,2
			в	»		—	30	0,5	0,1	0,1	0,3	0,1	0,1

до глаза не превышает 0,5 м. Первые пять разрядов (см. табл. 2.1) включают в себя точные работы и делятся каждый на четыре подразряда в зависимости от контраста объекта различения с фоном и отражающих свойств фона (освещаемой поверхности). При этом установлены три группы контрастов: малый ($K < 0,2$), средний ($0,2 \leq K \leq 0,5$) и большой ($K > 0,5$).

По коэффициенту отражения освещаемые поверхности делятся также на три группы — поверхности образующие: 1) темный фон с коэффициентом отражения меньше 0,2; 2) средний фон с коэффициентом отражения от 0,2 до 0,4; 3) светлый фон с коэффициентом отражения более 0,4.

Для каждого из подразрядов установлены определенные нормируемые освещенности. Ее наибольшие значения в каждом разряде соответствуют наиболее тяжелым условиям зрительной работы, т. е. случаям различения объекта на темном фоне при малом контрасте (подразряд «а»).

Кроме этих разрядов предусмотрены еще два, включающие работы с самосветящимися материалами и изделиями, характерные, например, для цехов горячей обработки металла (VII разряд, см. табл. 2.1), а также работы, в которых имеется лишь наблюдение за ходом производственного процесса, а не различение мелких объектов (VIII разряд). VIII разряд состоит из трех подразрядов, определяемых постоянным и периодическим наблюдением за состоянием оборудования и коммуникаций при постоянном и временном пребывании людей в помещении.

Как видно из табл. 2.1, более высокие значения освещенности нормируются для системы комбинированного освещения (общее + местное). Это объясняется особенностями местного освещения, позволяющими создавать на рабочих поверхностях высокие уровни освещенности светильниками с лампами малой мощности за счет их максимального приближения к рабочей поверхности.

При невозможности или технической нецелесообразности использования газоразрядных ламп в производственных помещениях допускается применение ламп накаливания. Нормируемая освещенность при этом снижается по шкале освещенности, имеющей следующие ступени в лк: 0,2; 0,3; 0,5; 1; 2; 3; 5; 7; 10; 20; 30; 50; 75; 100; 150; 200; 300; 400; 500; 600; 750; 1000; 1250; 1500; 2000; 2500; 3000; 3500; 4000; 4500; 5000: а) в помещениях производственных зданий на одну ступень при системе комбинированного освещения, если нормируемая освещенность составляет 750 лк и более; на одну ступень при системе общего освещения для разрядов I—V, VII, при этом освещенность от ламп накаливания не должна превышать 300 лк; на две ступени при системе общего освещения для разрядов VI и VIII; б) в помещениях общественных зданий и вспомогательных помещениях промышленных, общественных и жилых зданий — на две ступени.

Различие значений освещенности при освещении лампами накаливания и газоразрядными лампами не означает, что последние «хуже» ламп накаливания и для них необходима повышенная

освещенность: так бывает только при освещенностях менее 100 лк. Дело в том, что когда появились люминесцентные лампы, было принято решение использовать их повышенную световую отдачу, чтобы создать такие освещенности, которые не могут быть обеспечены лампами накаливания. Можно считать, что нормы для газоразрядных ламп являются основными, для ламп накаливания — временно допускаемыми, но для установления единых норм предположений еще нет.

Если установить для ламп накаливания высокие нормы, как для газоразрядных ламп, то спрос на последние в несколько раз превысил бы их выпуск. Но применение ламп накаливания привело бы к чрезмерной затрате энергии и средств.

В зависимости от наличия признаков, осложняющих или, наоборот, облегчающих зрительную работу, характеризующих повышенной опасностью травматизма или требующих улучшенных санитарных условий, уровни нормированной освещенности, приведенные в табл. 2.1, могут быть соответственно повышены или понижены на одну ступень.

Например, освещенность повышается на одну ступень в случаях, когда напряженная зрительная работа характеризуемая I—IV разрядами зрительной работы, выполняется в течение всего рабочего дня (визуальный контроль изделий, проборка нитей в текстильном производстве и т. д.); в помещениях для работы или производственного обучения подростков, если освещенность составляет 300 лк и менее; в производственных помещениях без естественного света с постоянным пребыванием работающих, если освещенность от общего освещения составляет 1000 лк и менее; при повышенной опасности травматизма, если освещенность при системе общего освещения составляет 150 лк и менее и т. д.

В некоторых случаях для помещений, где выполняются работы V, VI разрядов, нормы освещенности снижаются на одну ступень при кратковременном пребывании людей, а также при наличии оборудования, не требующего постоянного обслуживания.

В помещениях, относящихся к разрядам I—V, освещенность проходов и участков, где не производится работа, должна составлять 25% освещенности, создаваемой общим освещением на рабочих местах. При этом она не должна быть менее 30 лк при лампах накаливания и 75 лк при газоразрядных лампах.

В табл. 2.1 в графах 9—14 приведены нормы естественного и совмещенного освещения, которое нормируется коэффициентом естественной освещенности (КЕО), определяемым отношением естественной освещенности, создаваемой в некоторой точке заданной плоскости внутри помещения светом неба (непосредственным или после отражений), к одновременному значению наружной горизонтальной освещенности, создаваемой светом полностью открытого небосвода (выражается в процентах). При определении расчетного значения КЕО прямой солнечный свет не учитывается.

Для помещений жилых, общественных и вспомогательных зданий различного назначения в СНиП включена подробная табли-

ца, охватывающая все общественные здания, на которые имеются строительные нормы.

Таблица состоит из 9 граф: 1 и 2 относятся как к искусственному, так и к естественному освещению; 3—6 — характеризуют искусственное освещение; 7—9 — естественное.

В табл. 2.2* для зданий управления, конструкторских и проектных организаций, научно-исследовательских учреждений, общественных зданий дана выписка нормированных параметров осветительных установок.

Для некоторых помещений этих зданий II и III групп дополнительно к нормированию освещенности на рабочей поверхности приводятся требования к цилиндрической освещенности в случаях, когда по условиям архитектурно-художественного оформления тре-

Таблица 2.2

Помещения	Площадь (г-ризон-тальная, В-верти-кальная) нормирования освещенности и КЕО, высота плоскости над полом, м	Искусственное освещение				Естественное освещение		
		освещенность рабочих поверхностей, лк	цилиндрическая освещенность, лк	показатель дискон-форты, % не более	коэффици-ент пульса-ции освещенности, % не более	КЕО, е ^н , %		
						при верхнем или боковом освещении	в зоне устойчивым снежным покровом	на ос-тальной территории СССР
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Здания управления, конструкторских и проектных организаций, научно-исследовательских учреждений:								
кабинеты и рабочие комнаты, проектные кабинеты	Г-0,8	300*	—	40	15	—	0,8	1
проектные залы и комнаты, конструкторские, чертежные бюро	Г-0,8	500*	—	40	10	5	1,6	2
машинописные и машиносчетные бюро	Г-0,8	400*	—	40	10	4	1,2	1,5

* Для местного освещения следует предусматривать штепсельные розетки.

* При использовании ламп накаливания освещенность следует понижать на одну ступень шкалы освещенности.

буется обеспечить впечатление насыщенности помещения светом.

Цилиндрическая освещенность — это характеристика освещения, определяемая как средняя плотность светового потока на поверхности вертикально расположенного в помещении цилиндра, радиус и высота которого стремятся к нулю. В упомянутой табл. 2.2 указываются также уровни освещенности и нормируемые значения КЕО для вспомогательных помещений промышленных и общественных зданий, а также плоскости, в которых они нормируются. В этих нормах освещение регламентируется для наиболее характерных вспомогательных помещений в зависимости от их назначения. При использовании ламп накаливания для освещения вспомогательных помещений допускается снижение освещенности на две ступени.

Освещенность часто встречающихся производственных участков в зданиях различного назначения приведена в приложении 3 СНиП II-4—79.

Для учета снижения КЕО и освещенности в процессе эксплуатации осветительной установки вследствие загрязнения и старения светопрозрачных заполнений (материалов) в световых проемах, ламп и светильников, а также снижения отражающих свойств поверхности помещения вводится коэффициент запаса.

Значения этого коэффициента, указанные в табл. 2.3, при применении узорчатого стекла, стеклопластика, армопленки и матированного стекла следует увеличить в 1,1 раза, а при использовании световых проемов для аэрации умножать на 0,9.

Значения коэффициентов запаса для осветительных установок искусственного освещения могут быть снижены в зависимости от эксплуатационных групп светильников (эксплуатационная группа светильника определяется конструктивно-светотехнической схемой светильника, видом материала или покрытия отражателя и рассеивателя светильника и типа используемого источника света).

Коэффициенты запаса установлены с учетом количества чисток в год заполнений световых проемов и светильников.

§ 2.4. Естественное и совмещенное освещение

Естественное освещение необходимо во всех помещениях, предназначенных для постоянного пребывания людей. Без такого освещения допускается проектировать только помещения, разрешенные санитарными нормами проектирования промышленных предприятий и указанные в таблице освещенностей СНиПа для помещений общественных зданий.

Естественное освещение подразделяется на *боковое* (светопроемы — окна расположены в стене помещения), *верхнее* (светопроемы — фонари расположены на крыше здания), *комбинированное* (боковое + верхнее).

При одностороннем боковом естественном освещении нормируется минимальное значение КЕО в точке, расположенной на рас-

Таблица 2.3

Помещения и территория	Примеры помещений	Коэффициенты запаса <i>k</i> и число чисток в год*				
		при естественном освещении и заполнении светопропускающего материала	вертикально	наклонно	горизонтально	при искусственном освещении
Производственные помещения с воздушной средой, содержащей в рабочей зоне свыше 5 мг/м³ пыли, дыма, копоти	Агломерационные фабрики, цементные заводы и обрубные отделения литейных цехов Цехи кузнечные, литейные, мартеновские, сварочные, сборного железобетона Цехи инструментальные, сборочные, механические, механосборочные, полишивные Цехи химических заводов по выработке кислот, щелочей, едких химических реактивов, ядохимикатов, удобрений. Цехи гальванических покрытий и гальванопластики различных отраслей промышленности с применением электролиза	1,5/4	1,7/4	2/4	2/18	1,7/18
		1,4/3	1,5/3	1,8/3	1,8/6	1,5/6
		1,3/2	1,4/2	1,5/2	1,5/4	1,3/4
		1,5/3	1,7/3	2/3	1,8/6	1,5/6
Производственные помещения с особым режимом по чистоте воздуха при обслуживании светильников: с технического этажа снизу из помещения	— —	— —	— —	— —	1,3/4 1,4/2	1,15/4 1,2/2

Продолжение табл. 2.3

Помещения и территории	Примеры помещений	Коэффициенты запаса k и число чисток в год*				
		При естественном освещении в расположении светопропускающего материала	При искусственном освещении	вертикально	наклонно	горизонтально
Помещения общественных и жилых зданий Территории: металлургических, химических, горно-обработывающих предприятий, шахт, рудников, железнодорожных станций и прилегающих к ним улиц и дорог промышленных предприятий (кроме указанных в п. «а») и общественных зданий Улицы, площади, дороги, территории жилых районов и выставок, парки бульвары	Кабинеты и рабочие помещения общественных зданий, жилые комнаты, учебные помещения, лабораторий, читальные залы, залы совещаний, торговые залы и т. д.	1,2/2	1,4/2	1,5/2	1,5/2	1,3/2
		—	—	—	—	1,4/4
		—	—	—	—	1,3/2
		—	—	—	—	1,3/2

* В числителе дроби коэффициент запаса, в знаменателе — число чисток в год.

стоянии 1 м от стены, наиболее удаленной от световых проемов, на пересечении вертикальной плоскости характерного* разреза помещения и условной рабочей поверхности** (или пола).

При двустороннем симметричном боковом освещении нормируется минимальное значение КЕО в точке, расположенной посередине помещения на пересечении вертикальной плоскости характерного разреза помещения и условной рабочей поверхности (или пола).

При верхнем и комбинированном естественном освещении нормируется среднее значение КЕО в точках, расположенных на пересечении вертикальной плоскости характерного разреза помещения и условной рабочей поверхности (или пола). Первая и последняя точки принимаются на расстоянии 1 м от поверхности стен или перегородок. Норма КЕО зависит от расположения здания по отношению к поясу светового климата, что учитывается при его расчете коэффициентами: m — светового климата и c — солнечности климата:

$$e_n^{I,II,IV,V} = e_n^{III} m c, \quad (2.1)$$

где $e_n^{I,II,IV,V}$ — норма КЕО для зданий, расположенных в I, II, IV и V поясах светового климата; e_n^{III} — норма КЕО для зданий, расположенных в III поясе светового климата, указанная в табл. 2.1 и 2.2; m — коэффициент светового климата, определяемый совокупностью условий естественного освещения в той или иной местности; c — коэффициент солнечности климата, учитывающий дополнительный световой поток, проникающий через световые проемы в помещения за счет прямого и отраженного от подстилающей поверхности солнечного света в течение года.

Расчет естественного освещения помещений бывает *предварительный* и *проверочный*. При предварительном расчете определяют размеры световых проемов, при проверочном — расчетные значения КЕО в точках характерного разреза помещения (рис. 2.1). При этом расчетные точки следует выбирать на равных расстояниях друг от друга, располагая первую и последнюю точки на расстоянии 1 м от стен и перегородок.

Совмещенное освещение помещений производственных зданий допускается для производственных помещений, в которых выполняются работы I и II разрядов; для производственных и других помещений в случаях, когда по условиям технологии, организа-

* Поперечный разрез по середине помещения, плоскость которого перпендикулярна плоскости остекления световых проемов (при боковом освещении) или продольной оси пролетов помещения. В характерный разрез помещения должны попадать участки, наиболее загруженные оборудованием, а также точки рабочей зоны, наиболее удаленные от световых проемов.

** Условно принятая горизонтальная поверхность, расположенная на высоте 0,8 м от пола.

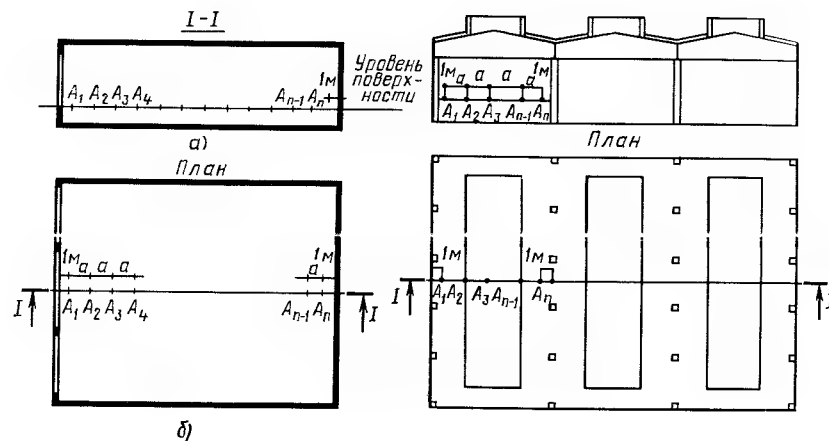


Рис. 2.1. Характерный поперечный разрез помещения для расчета КЕО:
а — при боковом освещении; б — при верхнем освещении

ции производства или климата в месте строительства требуются объемно-планировочные решения, которые не позволяют обеспечить нормированные значения КЕО (многоэтажные здания большой ширины, одноэтажные многопролетные здания с пролетами большой ширины и т. п.); в соответствии с нормативными документами по строительному проектированию зданий и сооружений отдельных отраслей промышленности, утвержденных в установленном порядке.

Совмещенное освещение помещений жилых, общественных и вспомогательных зданий допускается в тех случаях, когда это требуется по условиям рациональных объемно-планировочных решений, за исключением жилых комнат и кухонь жилых домов, помещений для пребывания детей, учебных и учебно-производственных помещений школ и учебных заведений, кабинетов врачей и т. д.

При совмещенном освещении предъявляются требования к источникам света: общее искусственное освещение независимо от принятой системы освещения должно выполняться газоразрядными источниками света (в помещениях без особых требований к цветопередаче): лампами типа ЛБ, МГЛ, ДРЛ в промышленных зданиях и ЛБ в общественных.

Применение ламп накаливания допускается в отдельных случаях, когда по условиям технологии, среды или требований оформления интерьера использование газоразрядных источников света невозможно или нецелесообразно.

При совмещенном освещении производственных помещений расчетные значения КЕО в них должны приниматься согласно графам 12—14 табл. 2.1.

В производственных помещениях с работами I—IV разрядов допускается снижение расчетных значений КЕО до значений, указанных в табл. 2.4:

а) при расположении производственных зданий в северной строительной-климатической зоне;

б) в помещениях с боковым освещением, глубина которых по условиям технологии или выбора рациональных объемно-планировочных решений не позволяет обеспечить нормированные значения КЕО, указанные в графах 13 и 14 табл. 2.1.

Не допускается проектирование совмещенного освещения помещений, в которых расчетные значения КЕО ниже указанных в табл. 2.4.

Для производственных помещений при снижении норм ниже значений, приведенных в табл. 2.4, освещенность от системы общего искусственного освещения следует повышать на одну ступень по шкале освещенности (кроме разрядов Ia, Ib, Iv, IIa, IIб), если повышение уровней освещенности не предусматривается другими требованиями норм и принимать в пределах, указанных в табл. 2.5. Освещенность

Таблица 2.4

Разряд зрительной работы	Наименьшее нормированное значение КЕО, ед., %, при совмещенном освещении		
	верхнем или верхнем и боковым	при боковом	
		в зоне с устойчивым снежным покровом	на остальной территории СССР
I	3	1	1,2
II	2,5	0,8	1
III	2	0,6	0,7
IV	1,5	0,4	0,5
V и VII	1	0,2	0,3
VI	0,7	0,2	0,2

Таблица 2.5

Лампы	Освещенность, лк, от системы общего искусственного освещения при совмещенном	
	наименьшая	наибольшая
Газоразрядные Накаливания	200 100	750 300

Таблица 2.6

Разряд зрительной работы	Освещенность лк, от светильников общего искусственного освещения в системе комбинированного при совмещенном освещении	
	при газоразрядных лампах	при лампах накаливания
Ia	600	300
Iб, IIa	500	300
Iв, IIб	400	300
Iг	200	150
IIв, IIIa	300	200
IIг, IIIб, IIIв, IIIг, IV, Va, Vб	200	100

от светильников общего освещения в системе комбинированного указана в табл. 2.6.

Расчетные значения КЕО при совмещенном освещении общественных зданий должны составлять 60% значений, указанных в СНиПе.

Допускается снижение расчетного КЕО в пределах от 60 до 30% от значений, приведенных в СНиПе для торговых залов магазинов, залов буфетов, раздаточных предприятий общественного питания.

На промышленных предприятиях, где выполняются работы I–IV разрядов (при постоянном пребывании работающих) в III и IV светоклиматических районах, а также в общественных и жилых зданиях этих зон для защиты от слепящего действия прямых солнечных лучей предусматриваются солнцезащитные устройства.

§ 2.5. Искусственное освещение зданий, площадок предприятий и мест производства работ вне зданий

Искусственное освещение подразделяется на *рабочее, аварийное и эвакуационное* (аварийное освещение для эвакуации), *охранное*. При необходимости часть светильников того или иного вида освещения можно использовать для дежурного освещения.

Рабочее освещение предусматривается для всех помещений зданий, а также участков открытых пространств, предназначенных для работы, прохода людей и движения транспорта.

Искусственное освещение проектируется двух систем: *общее* с равномерным или локализованным размещением светильников и *комбинированное*, когда к общему добавляется местное, концентрирующее световой поток непосредственно на рабочих местах. В нормах указывается на необходимость оборудования производственных помещений (с постоянным пребыванием работающих) без естественного света или с недостаточным по биологическому действию естественным светом (коэффициент естественной освещенности менее 0,1%) установками искусственного ультрафиолетового облучения (с эритемными лампами). Для этого наиболее эффективно применение установок общего эритемного облучения работающих, которое необходимо предусматривать в первую очередь на предприятиях, располагаемых за Северным Полярным кругом.

Освещение помещений производственных и складских зданий. Для освещения помещений производственных и складских зданий предусматривается применение газоразрядных ламп низкого и высокого давления: люминесцентных, ДРЛ с исправленной цветностью, металлогалогенных, натриевых, ксеноновых. Использование ламп накаливания допускается только при невозможности или технико-экономической нецелесообразности применения газоразрядных источников света.

Выбор источников света зависит не только от технико-экономических показателей осветительных установок, но также и от требований к цветности источников света и цветоразличению при работе.

Цветопередача является тем показателем, который определяет влияние спектрального состава излучения искусственного источника света на воспринимаемый цвет освещаемых объектов по сравнению с цветом этих объектов при освещении их стандартным источником света. Оценка источника света производится по цветовой температуре и индексу цветопередачи.

Согласно зрительной работе все технологические операции делятся на шесть групп (приложение 6 СНиПа) в зависимости от требований к цветовым характеристикам. На цветовые характеристики объектов, кроме источников света, влияет уровень освещенности. Например, наиболее высокие требования предъявляются к выполнению технологических операций, связанных с контролем цвета, которому сопутствуют очень высокие требования к цветоразличению (контроль готовой продукции на швейных фабриках, сортировка кожи, изготовление красок для цветной печати и т. п.). При освещенности 300 лк и более рекомендуются источники света с индексом цветопередачи R_a не менее 90 и цветовой температурой $T = 5000 \div 6500$ К. Этим требованиям удовлетворяют лампы массового производства типа ЛДЦ, ЛДЦ УФ.

Достаточно высокие требования к цветности источников света предъявляются при составлении цветов с высокими требованиями к цветоразличению (раскрой верха обуви, контроль сырья на консервных заводах и т. п.); для этих условий R_a должен иметь значение не менее 85, а $T = 4000 \div 6500$ К.

При работе же с ахроматическими объектами (механическая обработка металлов, пластмасс, сборка машин и инструментов и т. п.) требования к цветности источников света в зависимости от требуемого уровня освещенности колеблются в пределах от $R_a = 50 \div 55$ и $T = 3500 \div 6500$ К (например, лампы типа ЛБ и МГЛ) до $R_a = 25 \div 45$ и $T = 2100 \div 3500$ К (например, лампы типа ЛБ и НЛВД).

Применение в помещении ксеноновых ламп, имеющих значительную ультрафиолетовую составляющую в излучении, допускается только по согласованию с Минздравом СССР.

При выполнении работ I–IV разрядов в помещениях производственных зданий применяется система комбинированного освещения. Использование системы общего освещения допускается как исключение.

Освещенность рабочей поверхности, создаваемая светильниками общего освещения в системе комбинированного, должна составлять 10% нормируемой для комбинированного при источниках света, применяемых для местного освещения. При этом наибольшее значение не должно превышать 500 лк при газоразрядных и 100 лк при лампах накаливания и не снижаться ниже 150 лк при газоразрядных и 50 лк — при лампах накаливания.

В производственных помещениях без естественного света освещенность рабочей поверхности, создаваемая светильниками общего освещения при системе комбинированного, должна приниматься согласно табл. 2.7

Общее освещение в системе комбинированного следует выполнять, как правило, газоразрядными лампами независимо от типа источника света, используемого для местного освещения.

В цехах с полностью автоматизированными линиями кроме освещения для наблюдения за работой оборудования предусматривается возможность включения дополнительных светильников общего освещения и стационарных или переносных светильников местного освещения для проведения ремонтно-наладочных и контрольно-браковочных работ.

Таблица 2.7

Разряд и подразряд работ по табл. 2.1	Освещенность от общего освещения в системе комбинированного, лк	
	при газоразрядных лампах	при лампах накаливания
Ia	750	300
Iб, IIa	600	300
Iв, IIб	500	300
Iг	300	200
IIв, IIIa	400	300
IIг, IIIб, IIIв, IIIг, IV, Va, Vб	200	150

В действующем СНиПе ограничивается неравномерность распределения освещенности, создаваемой светильниками общего освещения: для работ I—III разрядов отношение максимальной освещенности к минимальной при люминесцентных лампах не должно

превышать 1,5, при других источниках света — 2; для работ IV—VII и VIIa разрядов — 1,8 и 3 соответственно.

Слепящее действие светильников общего освещения в производственных и вспомогательных помещениях регламентируется максимально допустимым значением показателя ослепленности, определяемого по формуле

$$P = (S - 1) \cdot 1000, \quad (2.2)$$

где P — показатель ослепленности; S — коэффициент ослепленности

$$S = V_1/V_2, \quad (2.3)$$

где V_1 — видимость объекта наблюдения при экранировании блеских источников света; V_2 — видимость объекта наблюдения при наличии блеских источников света в поле зрения.

В табл. 2.8 приводится нормируемое в зависимости от разряда зрительной работы максимально допустимое значение показателя ослепленности в производственных помещениях.

Показатель ослепленности не ограничивается для помещений, длина которых не превышает двойной высоты установки светильников над полом; для помещений высотой не более 2,5 м при выполнении работ VI и VIIa разрядов (при временном пребывании людей независимо от разрядов работ), а также для площадок, предназначенных для прохода людей или обслуживания оборудования

при использовании светильников с лампами накаливания мощностью не более 150 Вт, лампами ДРЛ мощностью не более 250 Вт и люминесцентными лампами суммарной мощностью не более 80 Вт, если защитный угол этих светильников не менее 15° и др.

Ограничение слепящего действия светильников местного освещения регламентируется применением непросвечивающих отражателей, имеющих защитный угол не менее 30° .

Использование светильников с защитным углом, уменьшенным до 10° , возможно только при расположении их ниже уровня глаз работающего.

При выполнении работ, характеризующихся I—IV разрядами зрительной работы, предусматривается ограничение отраженной блескости рабочих поверхностей, облаающих зеркальным и смешанным отражением (рис. 2.2): при работе с металлическими, пластмассовыми непрозрачными поверхностями рекомендуется использовать светильники с люминесцентными лампами, перекрытыми рассеивателями, яркость светящейся поверхности которых находится в пределах от 2500 до 4000 кд/м², при этом светящая поверхность

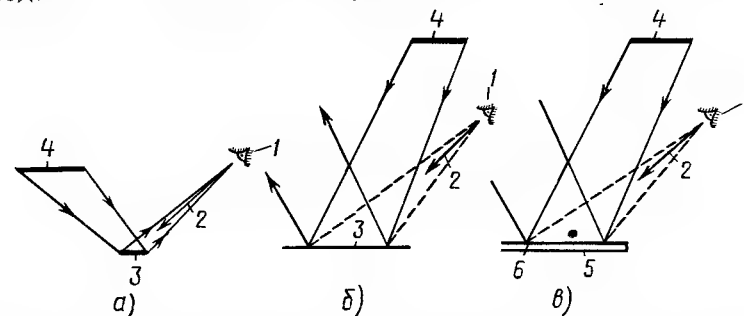


Рис. 2.2. Схема расположения светильника, рабочей поверхности и работающего: а — при работах с металлами или светлыми пластмассами; б — при работах с темными пластмассами, керамикой или другими темными материалами; в — при работах с диффузными поверхностями, рассматриваемыми через прозрачный материал, либо поверхностями, обладающими смещенным отражением; 1 — глаз работающего; 2 — направление линии зрения; 3 — рабочая поверхность; 4 — светящая поверхность светильника; 5 — диффузная рабочая поверхность; 6 — слой прозрачного материала

светильника зеркально отражается от рабочей поверхности в направлении глаз работающего (рис. 2.2,а) и яркость объекта различения воспринимается меньшей яркости фона; работы с темными поверхностями пластмасс, керамики и других материалов (например, выявление дефектов на грампластинках или черных резинотехнических изделиях) рекомендуется выполнять при использовании светильников с лампами накаливания прямого света без рассеивателя с яркостью выходного отверстия от 70 000 до 100 000 кд/м², при этом зеркальное отражение светящейся поверхности светильника

Таблица 2.8

Разряд и подразряд зрительной работы	Показатель ослепленности при пребывании людей в помещении	
	постоянном	периодическом
I, II	20	
III, IV, V, VII	40	60
VI, VIIa	60	80

от рабочей поверхности не совпадает с линией зрения работающего (рис. 2.2,б). Яркость объекта различения больше яркости фона; для освещения работ, требующих различения диффузно отражающих объектов на диффузном фоне через слой прозрачного материала (например, различение показаний измерительных приборов, сборка изделий под прозрачными колпаками, различение линий чертежа через кальку) возможно использование любых источников света. Любые светильников, яркость выходного отверстия не нормируется, при этом зеркальное отражение светящей поверхности светильника от рабочей поверхности не должно совпадать с линией зрения работающего (рис. 2.2,в).

При питании газоразрядных ламп переменным током промышленной частоты (50 Гц) световой поток ламп изменяется 100 раз/с. Пульсация освещенности вызывает у людей повышенное утомление и ухудшение общего состояния организма. В помещениях с движущимися или вращающимися частями оборудования пульсации могут выявить стробоскопический эффект. Относительная глубина пульсации освещенности характеризуется *коэффициентом пульсации* K_p , выраженном в %, который определяется по формуле

$$K_p = (E_{\max} - E_{\min}) / (2E_{\text{ср}}), \quad (2.4)$$

где K_p — коэффициент пульсации освещенности, %; $E_{\max}$ и $E_{\min}$ — максимальное и минимальное значения освещенности за период ее колебания, лк; $E_{\text{ср}}$ — среднее значение освещенности за этот же период, лк.

В установках общего и комбинированного освещения внутри зданий коэффициент пульсации в зависимости от разряда зрительной работы не должен превышать значений, указанных в табл. 2.9.

Таблица 2.9

Освещение	Коэффициент пульсации освещенности при разрядах зрительной работы, %			
	I и II	III	IV	VIIIa
Общее	10	15	20	
Комбинированное:				
общее	20	20	20	
местное	10	15	20	

Допускается повышение значений коэффициента пульсации освещенности до 30% в помещениях, где выполняются работы VI и VIIIa разрядов при отсутствии в них условий для возникновения стробоскопического эффекта.

В механизированных складах и других помещениях, где возможно возникновение стробоскопического эффекта, коэффициент пульсации не должен превышать 20%. При питании

газоразрядных ламп переменным током 400 Гц и более выполнение этих требований не обязательно.

Освещение помещений жилых общественных и вспомогательных зданий. Для освещения помещений общественных зданий, как правило, применяются люминесцентные лампы и только при необходимости обеспечения архитектурно-художественных требований и в случае технической невозможности допускается применение

ламп накаливания. Выбор типа люминесцентных ламп по цветовым характеристикам, так же как и в промышленных осветительных установках, определяется в зависимости от зрительной работы, характеризующей требованиями к цветоразличению.

Ограничение слепящего действия в осветительных установках общественных и жилых зданий производится по *показателю дискомфорта* — характеристике качества освещения, определяющей степень дополнительной напряженности зрительной работы, вызванной наличием резкой разницы яркостей одновременно видимых поверхностей в освещаемом помещении. В установках общего освещения (независимо от принятой системы освещения) показатель дискомфорта для конкретных помещений не должен быть более указанного в табл. 2.2. Определение показателя дискомфорта производится в зависимости от условий зрительной работы по табл. 2.10.

Таблица 2.10

Условия зрительной работы	Показатель дискомфорта при освещенности на рабочей поверхности, лк	
	200 и менее	300 и более
Преимущественное направление линии зрения вверх под углом 15° и более к горизонту (помещения изоляторов, приема детей, спальные комнаты в детских садах и яслях и т. д.)	25	15
Преимущественное направление линии зрения горизонтально и ниже горизонта (помещения I и II групп)	60	40
Общий обзор окружающего пространства (помещения III группы)	90	60

Показатель дискомфорта определяется у торцевой стены на центральной оси помещения на высоте 1,5 м от пола и не ограничивается для помещений, длина которых не превышает двойной высоты установки светильников над полом.

Для помещений II и III групп общественных зданий требования по насыщенности помещений светом нормируются цилиндрической освещенностью (табл. 2.11), значения для конкретных помещений указаны в СНиПе. Цилиндрическая освещенность определяется на расстоянии 1 м от торцевой стены на центральной продольной оси помещения на высоте 1,5 м от пола.

Таблица 2.11

Требования к насыщенности помещений светом	Цилиндрическая освещенность, лк
Очень высокие (залы заседаний для мероприятий союзного и республиканского значения, универсамы, банкетные залы и т. п.)	150
Высокие (зрительные залы театров, Дворцов культуры, концертные и т. п.)	100
Нормальные зрительные залы клубов, конференц-залы, выставочные, картинные галереи и т. п.)	75

Уровни цилиндрической освещенности (указанные в табл. 2.11) при использовании ламп накаливания следует снижать на две ступени по шкале освещенности.

Освещение площадок предприятий и мест производства работ вне зданий. Подход к нормированию освещения мест производства работ вне зданий имеет существенное отличие от нормирования освещения помещений промышленных зданий.

В основу определения уровня освещенности положен относительный размер объекта различения (отношение размера объекта различения к расстоянию до глаз), одинаковые уровни освещенности для разных источников света. Кроме того, все зрительные задачи, возникающие при выполнении работ вне зданий, заключаются в различении объектов на одинаковом темном фоне, поэтому исключен учет коэффициента отражения фона при установлении уровня освещенности.

Освещенность рабочих поверхностей мест производства работ, расположенных вне зданий, нормируется по табл. 2.12, а площадок предприятий на уровне земли или дорожных покрытий согласно табл. 2.13.

Таблица 2.12

Разряд зрительной работы	Характеристика работы	Освещенность, лк
IX	Точные, при отношении наименьшего размера объекта различения к расстоянию до глаз менее 0,005	50
X	Средней точности, при отношении наименьшего размера объекта различения к расстоянию до глаз от 0,005 до 0,02	30
XI	Малой точности, при отношении наименьшего размера объекта различения к расстоянию до глаз от 0,02 до 0,05, а также работы, требующие только общего наблюдения за ходом производственного процесса	10
XII	Грубые, требующие различения объектов при отношении наименьшего их размера к расстоянию до глаз 0,05 и более	5
XIII	Требующие различения крупных предметов, находящихся в непосредственной близости к работающему	2

Примечание. При опасности травматизма для работ XI—XIII разрядов освещенность следует повышать на одну ступень.

Для освещения площадок промышленных предприятий и мест производства постоянных работ вне зданий рекомендуется применять газоразрядные лампы высокого давления типа ДРЛ, МГЛ, НЛВД, ДКСт и низкого типа НЛНД, а также лампы накаливания (галогенные или общего назначения).

Качественные показатели осветительных установок в основном определяются требованиями к *равномерности распределения освещенности и ограничению слепящего действия.*

Освещаемые объекты	Освещенность, лк
Проезды с интенсивностью движения автомобилей в обоих направлениях (в сутки):	
от 1000 до 3000	3
от 200 до 1000	2
менее 200	1
Пожарные проезды, дороги для хозяйственных нужд, подъезды к зданиям	0,5
Пешеходные и велосипедные дорожки с движением:	
интенсивным	2,0
обычным	1,0
незначительным	0,5
Лестницы и мостики для переходов (на площадках и ступенях)	3
Пешеходные дорожки на площадках для отдыха и скверах	0,5
Предзаводские участки (площадки, проезды, проходы, стоянки автотранспорта) не относящиеся к территории города	2
Железнодорожные пути:	
стрелочные горловины	2
отдельные стрелочные переводы	1
железнодорожные пути, переезды	0,5

Примечание. Для автомобильных дорог, являющихся продолжением городских улиц и имеющих аналогичные покрытия проезжей части и интенсивность движения транспорта, необходимо соблюдать нормы средней яркости покрытий проезжей части, приведенные в табл. 2.16, относящейся к разделу «Наружное освещение городов, поселков и сельских населенных пунктов».

Равномерность распределения освещенности характеризуется отношением наибольшей освещенности $E_{\max}$ проезжей части дорог, проездов предзаводских площадок и железнодорожных путей к наименьшей их освещенности $E_{\min}$, значение которого не должно превышать 15:1, а для пешеходных дорожек 25:1.

Для ограничения слепящего действия установок наружного освещения мест производства работ и территорий промышленных предприятий высота установки светильников над уровнем земли должна быть для светильников с защитным углом менее 15° не менее той, которая указана в табл. 2.14; для светильников с защитным углом 15° и более — не менее 3,5 м над уровнем земли при любых источниках света.

Допускается не ограничивать высоту подвеса светильников с защитным углом 15° и более (или с рассеивателями из молочного стекла без отражателей) на площадках для прохода людей или обслуживания технологического (или инженерного) оборудования, а также у входа в здание.

Венчающие светильники рассеянного света должны устанавливаться на высоте не менее 3 м над уровнем земли при световом потоке источника света до 6000 лм и на высоте не менее 4 м при световом потоке источника света свыше 6000 лм. Ограничение слепящего действия осветительных установок для освещения мест производства работ, расположенных вне зданий и территорий

промышленных предприятий, выполненных прожекторами или наклонно расположенными осветительными приборами прожекторного типа, определяется отношением осевой силы света одного прибора (I_{max} , кд) к квадрату высоты установки этих приборов (H , м), которое в зависимости от нормируемой освещенности не должно превышать значений, указанных в табл. 2.15.

Таблица 2.14

Характер светораспределения	Максимальный световой поток ламп в светильниках, установленных на одной опоре, лм	Наименьшая высота установки светильников, м	
		при лампах накаливания	при газоразрядных источниках света
Полувидовое	Менее 5000	6,5	7
	5000 — 10 000	7	7,5
	10 000 до 20 000	7,5	8
	20 000 до 30 000	—	9
	30 000 до 40 000	—	10
Широкое	Менее 5000	7	7,5
	5000 — 10 000	8	8,5
	10 000 до 20 000	9	9,5
	20 000 до 30 000	—	10,5
	30 000 до 40 000	—	11,5
	40 000	—	13

Таблица 2.15

Нормируемая освещенность, лк	0,5	1	2	3	5	10	30	50
I_{max}/H^2	100	50	250	300	400	700	2100	3500

При совпадении направлений осевых сил света нескольких световых приборов значения I_{max}/H^2 , приведенные в табл. 2.15, следует поделить на число этих световых приборов.

Аварийное, эвакуационное, дежурное и охранное освещение. Бесперебойность действия осветительной установки для промышленных предприятий, помещений общественных зданий и других объектов является главным обязательным требованием. Внезапное отключение освещения может привести к нарушению производственного процесса (цехи горячей обработки металла), массовому травматизму (цехи с взрывоопасной средой), выводу из строя таких объектов, как электростанции, водоснабжение и т. д. Поэтому

согласно требованиям СНиПа кроме рабочего освещения в помещениях и на открытых площадках промышленных предприятий существует еще аварийное.

При отключении рабочего освещения аварийное должно давать возможность в одних случаях продолжать работу при пониженной освещенности — это *аварийное* освещение для продолжения работы, в других безопасно выйти работающим из помещения — *эвакуационное*.

Аварийное освещение предусматривается в том случае, если отключение рабочего освещения и связанное с этим нарушение нормального обслуживания оборудования может вызвать: взрыв, пожар, отравление людей; длительное нарушение технологического процесса; нарушение работы таких объектов, как электрические станции, узлы радиопередачи и связи, диспетчерские пункты, насосные установки водоснабжения, канализации, теплофикации и т. п.

Наименьшая освещенность рабочих поверхностей производственных помещений и территорий предприятий, требующих обслуживания при аварийном режиме, должна составлять 5% освещенности, нормируемой для рабочего освещения при системе общего освещения, но не менее 2 лк внутри зданий и 1 лк для территорий предприятий.

При этом создавать освещенность внутри зданий более 30 лк для газоразрядных и более 10 лк для ламп накаливания допускается только при соответствующем обосновании.

Эвакуационное освещение в помещениях или в местах производства работ вне зданий должно быть: в местах, опасных для прохода людей; в проходах и на лестницах, служащих для эвакуации людей, при числе эвакуирующихся более 50 человек; по основным проходам производственных помещений, в которых работает более 50 человек; на лестничных клетках жилых домов высотой 6 этажей и более; в производственных помещениях с постоянно работающими людьми, где выход людей из помещения при аварийном отключении рабочего освещения связан с опасностью травматизма из-за продолжения работы производственного оборудования; в помещениях общественных зданий и вспомогательных зданий промышленных предприятий, если в помещении могут одновременно находиться более 100 человек.

Эвакуационное освещение должно обеспечивать наименьшую освещенность на полу основных проходов (или на земле) и ступенях лестниц: в помещениях — 0,5 лк; на открытых территориях — 0,2 лк.

В производственных помещениях светильники аварийного освещения можно использовать и для освещения, обеспечивающего требования эвакуации.

К источникам света, используемым для аварийного и эвакуационного освещения, предъявляются специальные требования, обеспечивающие надежность их работы при отключении рабочего освещения. Поэтому для этих видов освещения указываются

источники света: лампы накаливания; люминесцентные лампы — в помещениях с минимальной температурой воздуха не менее $+5^{\circ}\text{C}$ и при условии питания ламп во всех режимах переменным током с напряжением на лампах не ниже 90% номинального значения, что обеспечивает достаточную надежность их использования для аварийного освещения.

Применять дуговые газоразрядные лампы ДРЛ, МГЛ, ДНаТ, ДКсТ и т. д. для аварийного освещения не разрешается, так как их повторное зажигание после отключения происходит только после охлаждения лампы, т. е. через 10—15 мин после погасания, что неприемлемо для аварийного освещения.

Для облегчения эвакуации людей при низких уровнях освещенности выходы из производственных помещений без естественного света, где одновременно могут находиться более 50 человек или имеющих площадь более 150 м^2 , а также из помещений общественных зданий, где могут одновременно находиться более 100 человек, должны быть отмечены световыми указателями, присоединенными к сети аварийного освещения.

Большинство производственных предприятий работает не круглосуточно, а в две или одну смену с выходными и праздничными днями. В нерабочее время, совпадающее с темным временем суток, во многих помещениях предприятий необходимо минимальное искусственное освещение для несения дежурства пожарной и военизированной охраны. Для этого в соответствующих помещениях и местах предусматривается дежурное освещение. Освещенность, создаваемая дежурным освещением, не нормируется. Число и размещение светильников такого освещения и режимы работы светильников устанавливаются службами эксплуатации производственных предприятий. В общих нормах искусственного освещения содержится только общая рекомендация: выделять на дежурное освещение по возможности часть светильников рабочего или аварийного освещения. Дежурное обычно бывает необходимо в тех помещениях, где требуется эвакуационное освещение, что без дополнительных усложнений осветительных установок позволяет использовать этот вид освещения в качестве дежурного.

Для охраняемых в ночное время территорий и сооружений применяется *охранное* освещение, устраиваемое вдоль линии границы. Оно должно создавать минимальную освещенность 0,5 лк на уровне земли в горизонтальной плоскости или на уровне 0,5 м от земли на одной стороне вертикальной плоскости, перпендикулярной линии границы.

При выборе источников и схем питания необходимо помнить основные требования по надежности и бесперебойности работы аварийного и эвакуационного освещения. Светильники аварийного и эвакуационного освещения в производственных зданиях без естественного света должны подсоединяться к независимому источнику питания или переключаться на него автоматически при аварийном отключении рабочего освещения.

Независимыми источниками питания аварийного или эвакуационного освещения могут служить: аккумуляторные батареи; генераторы с самостоятельными первичными двигателями; трансформаторы, получающие питание от системы, независимой от той, которая питает рабочее освещение. Светильники эвакуационного освещения в помещениях с естественным светом не требуют независимого источника питания и должны подключаться к сетям, отдельным от сетей рабочего освещения, начиная от щита низкого напряжения подстанции.

Если питание силовой и осветительных нагрузок осуществляется от разных трансформаторов (раздельное питание), то аварийное освещение целесообразно питать от силовой сети, так как обычно при ее отключении отпадает и необходимость в аварийном освещении. При общем вводе для силовой и осветительной нагрузок можно допустить разделение сетей рабочего и аварийного освещения, начиная от ввода в здание.

§ 2.6. Наружное освещение городов, поселков и сельских населенных пунктов

Нормы средней яркости асфальтобетонных покрытий проезжей части улиц, дорог, площадей городов и поселков с регулярным транспортным движением указаны в табл. 2.16.

В табл. 2.16 приведены также нормы средней горизонтальной освещенности покрытий проезжей части улиц, дорог и площадей для северной строительной климатической зоны.

Нормы освещения принимаются одинаковыми при любых источниках света, используемых в осветительных установках. В нормах указывается равномерность распределения яркости на покрытии проезжей части улиц, дорог и площадей, характеризующаяся отношением максимальной яркости покрытия к минимальной, которое при средней яркости покрытия более $0,6\text{ кд/м}^2$ не должно превышать 3:1 и 5:1 при средней яркости $0,6\text{ кд/м}^2$ и менее.

Средняя яркость покрытий тротуаров, примыкающих к проезжей части улиц и площадей, должна составлять не менее половины средней яркости покрытия проезжей части этих улиц, дорог и площадей, приведенной в табл. 2.16.

Для проезжей части улиц, дорог и площадей в городах и поселках, имеющих переходные* и низшие** покрытия, регламентируется средняя горизонтальная освещенность, значение которой для улиц, дорог и площадей категории Б должно быть 6 лк, а категории В при переходном типе покрытия 4 лк и при покрытии простейшего типа — 2 лк.

* Переходные покрытия — грунтоасфальтовые, щебеночные, гравийные и шлаковые с поверхностной обработкой вяжущими материалами; грунтощебеночные и грунтогравийные, обработанные вяжущими материалами и т. д.

** Низшие покрытия — грунтовые, улучшенные минеральными материалами: гравийные, щебеночные и шлаковые.

Таблица 2.16

Категория объекта по освещению	Улицы, дороги и площади	Наибольшая интенсивность движения транспорта в обоих направлениях, единиц в 1 ч	Средняя яркость покрытия, кд/м ²	Средняя горизонтальная освещенность покрытия для городов и населенных пунктов северной строительно-климатической зоны, лк
А	Скоростные дороги*, магистральные улицы общегородского значения; площади**: главные, вокзальные, транспортные, предмостные и многофункциональных транспортных узлов	Более 3000	1,6	20
		Свыше 1000 до 3000	1,2	20
		От 500 до 1000	0,8	15
		Менее 500	0,6	15
Б	Магистральные улицы районного значения, дороги грузового движения (общегородского значения), площади перед крупными общественными зданиями и сооружениями (стадионами, театрами, выставками и т. д.)	Более 2000	1,0	15
		Свыше 1000 до 2000	0,8	15
		От 500 до 1000	0,6	10
		Менее 500	0,4	10
В	Улицы и дороги местного значения: жилые, дороги промышленных и коммунально-складских районов, поселковые, площади перед общественными зданиями и сооружениями поселкового значения	500 и более	0,4	6
		Менее 500	0,2	4
			—	4

* Средняя яркость покрытия скоростных дорог принимается 1,6 кд/м² независимо от интенсивности движения транспорта.

** Норму средней яркости или освещенности покрытия проезжей части в границах транспортного пересечения в двух уровнях и более следует принимать как для освещения основной магистрали, на которой оно расположено.

Нормы средней горизонтальной освещенности на уровне покрытия непроезжих частей улиц, дорог и площадей, бульваров и скверов, пешеходных улиц и территорий микрорайонов в городах и поселках должны приниматься согласно табл. 2.17.

Таблица 2.17

Освещаемые объекты	Средняя горизонтальная освещенность, лк
Непроезжие части площадей категорий А и Б и предзаводские площади	10
Тротуары, отделенные от проезжей части на улицах категории:	
А	4
Б и В	2*
Посадочные площадки общественного транспорта на улицах всех категорий	10
Пешеходные мостики	10
Автостоянки на улицах всех категорий	4
Пешеходные тоннели:	
днем	100
вечером и ночью	40

Продолжение табл. 2.17

Освещаемые объекты	Средняя горизонтальная освещенность, лк
Лестницы пешеходных тоннелей вечером и ночью	20
Пешеходные улицы	4
Пешеходные дорожки бульваров и скверов, примыкающих к улицам, категорий:	
А	6
Б	4
В	2
Территории микрорайонов	
Пешеходные аллеи и дороги	4
Внутренние, служебно-хозяйственные и пожарные проезды, тротуары, подъезды, автостоянки, хозяйственные площадки и площадки при мусоросборниках	2
Прогулочные дорожки	1

* Норма распространяется также на освещенность тротуаров, примыкающих к проезжей части улиц категорий Б и В с переходными и низшими типами покрытий.

Нормы средней горизонтальной освещенности территории детских яслей-садов, общеобразовательных школ, школ-интернатов, больниц, санаториев, пансионатов и домов отдыха указаны в табл. 2.18.

Таблица 2.18

Освещаемые объекты	Средняя горизонтальная освещенность, лк
Детские ясли-сады, общеобразовательные школы и школы-интернаты	
Групповые и физкультурные площадки	10
Площадки для подвижных игр зоны отдыха*	10
Проезды и проходы к корпусам и площадкам	4
Больницы	
Въезд на территорию, зона приемного отделения	6
Проезды и проходы к лечебным корпусам	4
Прогулочные дорожки и площадки	4
Площадки зоны отдыха	6
Санатории, пансионаты, дома отдыха	
Въезд на территорию	6
Проезды и проходы к спальным корпусам, столовым, кинотеатрам и т. д.	4
Центральные аллеи парковой зоны	4
Боковые аллеи парковой зоны	2
Площадки зоны тихого отдыха и культурно-массового обслуживания (площадки массового отдыха, перед открытыми эстрадами и т. д.)	10
Площадки для настольных игр, открытые читальни*	10

* Уровни освещенности на столах для чтения и настольных игр принимаются по нормам для закрытых помещений.

Средняя горизонтальная освещенность территорий парков, стадионов, садов и выставок приведена в табл. 2.19.

Таблица 2.19

Освещаемые объекты	Средняя горизонтальная освещенность, лк			
	общегородские парки	районные сады	стадионы	выставки
Главные входы	6	4	10	10
Вспомогательные входы	2	1	6	6
Центральные аллеи	4	2	6	10
Боковые аллеи	2	1	4	6
Площадки массового отдыха, площадки перед входами: в театры, кинотеатры, выставочные павильоны и на открытые эстрады: площадки для настольных игр*	10	10	—	20
Зоны отдыха на территориях выставок	—	—	—	10

* См. список к табл. 2.18.

Нормы средней горизонтальной освещенности на уровне покрытия улиц, дорог и площадей сельских населенных пунктов приведены в табл. 2.20.

Таблица 2.20

Освещаемые объекты	Средняя горизонтальная освещенность, лк
Площади общественных и торговых центров	4
Поселковые улицы:	
с усовершенствованными и переходными типами покрытий	4
с низшими типами покрытий	2
Поселковые дороги	2
Пешеходные улицы	1

Для трамвайных путей, расположенных на проезжей части улицы, освещение должно соответствовать норме освещения улиц, а на поверхности обособленного трамвайного пути нормируется средняя горизонтальная освещенность, ее значение должно соответствовать 4 лк.

Средняя горизонтальная освещенность дорожного покрытия проезжей части городских транспортных тоннелей должна соответствовать значениям, приведенным в табл. 2.21.

Таблица 2.21

Режим освещения	Средняя горизонтальная освещенность, лк на расстоянии от начала въездного портала, м					
	5	25	50	75	100	125 и более
Дневной, для тоннелей длиной:						
до 100 м*	1000	750	500	200	50	
более 100 м	1000	750	500	300	150	60
Вечерний и ночной	60	60	60	60	60	60

* Для тоннелей длиной до 60 м с прямолинейной трассой искусственное освещение проектируется по нормам для вечернего и ночного режима освещения.

Средняя горизонтальная освещенность проездов под путепроводами и мостами в темное время суток должна быть не менее 30 лк при длине проезда до 40 м, а при большей длине принимается по нормам освещения тоннелей.

Нормируемые значения освещения разрешается увеличивать в столицах союзных республик, городах-героях, курортных и портовых городах союзного и республиканского значений: а) на 0,2—0,4 кд/м² для осветительных установок улиц, дорог и площадей категорий А и Б с усовершенствованными типами покрытия; б) до 20 лк для осветительных установок непроезжих частей площадей категории А и Б и предзаводских площадей, а также для главных входов стадионов и выставок; в) до 10 лк для осветительных установок улиц и дорог категории Б с переходными типами покрытий и главных входов городских парков.

В ночное время, когда интенсивность движения резко снижается, предусматривается снижение наружного освещения городских улиц, дорог и площадей с нормируемыми значениями средней яркости 0,4 кд/м² и выше или средней освещенности 4 лк и выше путем выключения не более половины светильников. При этом не допускается отключение двух подряд расположенных светильников. На улицах и дорогах с нормируемым значением средней яркости 0,2 кд/м² или средней освещенности 2 лк и ниже, на пешеходных дорожках, автостоянках, пешеходных аллеях и т. д., а также на улицах и дорогах населенных пунктов не допускается частичное и тем более полное отключение освещения в ночное время.

Ограничение слепящего действия в установках наружного освещения городов, поселков и сельских населенных пунктов определяется показателем ослепленности, который на улицах и дорогах, транспортных зонах площадей категорий А и Б не должен превышать 150.

Для осветительных установок улиц и дорог категории В, а также осветительных установок, уровень освещения которых регламентируется нормами средней освещенности, наименьшая высота распо-

ложения светильников по условиям ограничения ослепленности должна приниматься по табл. 2.14.

Светильники наружного освещения на стенах зданий не должны засвечивать окна жилых зданий.

В установках наружного освещения при средней яркости дорожного покрытия $0,4 \text{ кд/м}^2$ и выше и средней освещенности 4 лк и выше следует применять светильники с газоразрядными источниками света. Над проезжей частью улиц, дорог и площадей светильники должны устанавливаться на высоте не менее 6,5 м. Высота подвеса светильников над контактной сетью трамвая должна быть не менее 8 м от уровня головок рельсов, а над контактной сетью троллейбусов — не менее 9 м от уровня проезжей части.

Минимальная высота установки светильников в парапетах мостов и путепроводов не ограничивается при защитном угле светильника 10° и более, а также при недоступности прикосновения к токоведущим частям светильника без применения специального инструмента.

В транспортных тоннелях должны применяться светильники с защитным углом 10° и более, высота их расположения должна быть не менее 4 м. Требования к светильникам в пешеходных тоннелях заключаются в ограничении слепящего действия: защитные углы светильников с люминесцентными лампами и лампами ДРЛ должны быть не менее 15° , суммарная мощность ламп, применяемых в одном люминесцентном светильнике, не должна превышать 80 Вт, а для ламп ДРЛ — 125 Вт.

§ 2.7. Отраслевое нормирование освещения

Действующие в СССР нормы освещения (СНиП II-4—79) имеют следующие преимущества по сравнению с нормами технически развитых капиталистических стран: 1) применяемые в нашей стране нормы являются обязательными к исполнению; зарубежные нормы не обязательны — это лишь рекомендации инженерных обществ; 2) наши нормируют минимальное значение освещенности, которое должно быть гарантировано на каждом рабочем месте, зарубежные регламентируют средний уровень освещенности; 3) в нормах СССР регламентируется коэффициент запаса, чем обеспечивается соблюдение установленных освещенностей на весь срок эксплуатации осветительной установки, в зарубежных нормах этот показатель отсутствует; 4) неотъемлемой частью действующих в СССР норм являются требования к качеству освещения (ограничение слепящего действия, пульсации освещенности и т. п.).

По СНиПу можно определить освещенность, необходимую для выполнения любой работы. Однако даже специалисты не всегда однозначно оценивают все факторы, характеризующие выполняемую зрительную работу, и часто устанавливают различные освещенности для одной и той же работы. Во многих случаях возникает необходимость учитывать специфические особенности работы, не предусмотренные СНиПом.

Поэтому большое практическое значение имеют отраслевые нормы, разрабатываемые исследовательскими и проектными организациями на основе детального изучения производства и утверждаемые в установленном порядке.

В СНиП II-4—79 кроме основной таблицы норм имеются отраслевые в виде расписания освещенностей для непроизводственных помещений (см. табл. 2.2), а также помещений и производственных участков, характерных для промышленных предприятий (приложение 3 СНиП II-4—79), в число которых входят предприятия по обслуживанию автомобилей, склады громоздких предметов и сыпучих материалов (песок, лес, цемент), материальные, инструментальные склады и т. д.

Разрабатываемые на основе общесоюзных норм освещения отраслевые конкретизируют отдельные положения общесоюзных с учетом особенностей отраслей промышленности и производства, не повторяя их содержания. Отраслевые нормы должны обеспечивать оптимальные световые условия для повышения производительности труда, улучшения условий труда и быта, снижения сметной стоимости, повышения качества и сокращения сроков строительства, его индустриализации. Отраслевые нормы устанавливают технические требования к осветительным установкам, которые учитывают при их проектировании и эксплуатации в производственных зданиях предприятий отдельных отраслей или группы отраслей промышленности.

Отраслевые нормы содержат следующие разделы, расположенные в определенном порядке. А. *Общие положения*. Б. *Естественное освещение*: а) общие требования к освещению и область его применения; б) характеристика производства; в) расстановка рабочих мест; г) определение норм естественного освещения (КЕО) и его качества; д) выбор систем освещения; е) выбор типов световых проемов и схемы их размещения; ж) выбор светопропускающих материалов и конструкций световых проемов; з) выбор солнцезащитных средств. В. *Искусственное освещение*: а) виды освещения; б) выбор: систем освещения; источников света; типов светильников и их размещения; уровня освещенности; коэффициентов запаса; в) качество освещения; г) характеристики условий среды помещений по ПУЭ; д) особенности освещения отдельных помещений и рабочих мест; е) требования к местному освещению. Г. *Совмещенное освещение*: а) общие требования к совмещенному освещению и область его применения; б) уровни освещенности дополнительного искусственного освещения; в) выбор типов и расположения светильников дополнительного искусственного освещения; г) схемы и управление дополнительным искусственным освещением. Д. *Требования к технологической и строительной частям проекта*.

В разделе А «Общие положения» указывается область распространения норм и перечислены документы, которыми следует пользоваться при проектировании осветительных установок. В раз-

Таблица 2.22

№ п/п	Наименование помещения и производ- ственных операций	Наименование рабочей по- верхности, на которой нор- мируется освещенность	Плоскость, в которой нормируется освещенность	Фон	Разряд и под- разряд норм	Коэффициент есте- ственной освещен- ности, %, при естественном освеще- нии		Нормированная освещенность, лк, помеще- ния с естественным освещением			Показатель от- ношения, % бо- лее	Коэффици- ент пуль- сации, % не более	Допол- нитель- ные указа- ния
						верхнем и комбини- рованным	боковом	одно- общее	комбини- рованное	всего от об- щего			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

дел Б «Естественное освещение» включаются: общие требования к естественному освещению и области его применения — области применения естественного освещения и данные о возможности проектирования помещений без естественного света. В п. 6) «Характеристика производства» дана классификация производств по точности зрительных работ; наличие в производственной среде пыли, пожаро- и взрывоопасных технологических выделений. В п. в) «Расстановка рабочих мест» содержатся требования по расстановке и оборудованию (отделка рабочих поверхностей, фактура, цвет, коэффициенты отражения) рабочих мест с учетом требований ограничения ослепленности и сменности работы. П. г) «Определение норм (КЕО) естественного освещения и его качества» содержит данные по нормируемым значениям коэффициента естественной освещенности (КЕО) при боковом (одностороннем или двустороннем), верхнем и комбинированном освещении для производственных помещений различного назначения с учетом характера зрительной работы, светового климата района строительства. При разных разрядах зрительной работы, производимой в одном помещении, значение КЕО устанавливается по наиболее точной зрительной работе, охватывающей не менее 25% рабочих мест во всем технологическом процессе, выполняемом в помещении. Нормы естественного освещения следует указывать в графах 7, 8 табл. 2.22 (форма). В графе 14 таблицы приводятся данные по неравномерности распределения КЕО в помещении, устанавливается преимущественная направленность

световых потоков (с учетом типа различаемых деталей), даются рекомендации по оптимальному соотношению яркостей объекта наблюдения и рабочей поверхности, по ограничению предельной яркости поверхностей светопроемов и их контраста с различными поверхностями помещения. В п. д) «Выбор систем освещения» приведены требования к выбору систем освещения (боковой: односторонней и двусторонней, верхней, комбинированной) с учетом характера зрительной работы в помещении, объемно-планировочного и конструктивного решения здания с соответствующим обоснованием. В п. е) «Выбор типов световых проемов и схемы их размещения» содержатся требования по выбору в зависимости от нормируемого значения КЕО типов световых проемов (окна, фонари) и схем их расположения с учетом световой активности и светораспределения, разрывов между зданиями и взаимного их расположения, этажности и ориентации зданий по сторонам горизонта, разрывов между фонарями, а также защиты помещений от солнца в определенное время года. При выборе типов световых проемов и оптимальной схемы их размещения учитывается также специфика технологического процесса, расположение оборудования, рабочих мест и их ориентация по отношению к световым проемам, требования к аэрации и вентиляции помещений, особенности производственной среды и светоклиматического района строительства, направленность световых потоков, а также условия эксплуатации, единовременные затраты на строительство и эксплуатационные расходы. В п. ж) «Выбор светопропускающих материалов и конструкций световых проемов» приводятся требования по выбору светопрозрачных материалов, светопропускающих изделий (типа стеклянных блоков, стеклопакетов, профильного стекла и т. п.) с учетом их светопропускания и светорассеяния, ориентации и типов световых проемов и их размещения относительно рабочих мест. При этом следует учитывать характер производственной среды и зрительную характеристику выполняемых в помещении работ, их продолжительность и сменность, возможный уровень яркости поверхностей ограждений, светоклиматические особенности района строительства для создания оптимальной световой среды интереса. Кроме того, возможность снижения светопропускающей способности светопрозрачных ограждений учитывается с помощью коэффициента загрязнения при их расчете.

Для защиты от слепящего действия прямых солнечных лучей с учетом района строительства и требований к инсоляции, ориентации световых проемов по сторонам горизонта, направления солнечных лучей относительно работающего в помещении персонала и обеспечения восприятия последнего наружного пространства производится выбор солнцезащитных средств (п. з). При этом необходимо учитывать продолжительность и сроки использования производственных помещений, характеристики зрительных работ. Применять жалюзи и внутренние шторы в помещениях с выделением пыли не рекомендуется.

Раздел В «Искусственное освещение» включает: указания по применяемым видам освещения (рабочее, аварийное, эвакуационное, охранное, дежурное) внутри и вне здания промышленного предприятия. При этом необходимо указать, где и для каких технологических операций следует предусматривать аварийное освещение, а также уровни освещенности, необходимые для него. При совпадении требований отраслевых норм и главы СНиП II-4—79 можно сослаться на требование этой главы СНиПа.

Выбор систем освещения рекомендуется согласно нормированию освещения, приведенному в соответствующих графах табл. 2.22 (графа 9 — для общего освещения; 10 и 11 — для комбинированного).

Для основных и вспомогательных помещений предлагаются определенные источники света согласно требованиям к цветности их излучения и цветопередаче. Выбор типов светильников для основных цехов и вспомогательных помещений, а также для освещения площадок промышленных предприятий и мест производства работ, расположенных вне зданий, следует производить по следующим параметрам: светораспределение — тип кривой, а при необходимости требования к ограничению яркости светящей поверхности; исполнение светильников с учетом условий среды; для светильников местного освещения (не поставляемых с технологическим оборудованием) по возможности — способ крепления или установки.

Схема размещения светильников должна приводиться в специальных требованиях к качеству освещения, например направлению света, тени и т. д., и при типовых строительных и технологических решениях помещения, когда можно указать типовой проект осветительной установки.

Размещение светильников должно гарантировать нормированные уровни освещенности, равномерность распределения освещенности на рабочем месте, обеспечивать выполнение нормированных качественных показателей, в том числе распределение яркости в поле зрения работающих. Исходя из условий зрительной работы на рабочих местах определяют характеристики объектов различения и фона, а по их значению — и уровень освещенности по СНиПу.

Требования к эксплуатации осветительных установок вводятся в расчеты в виде коэффициентов запаса, а также указаний сроков очистки осветительных приборов. Желательно указывать средства для обслуживания осветительных установок и в случае необходимости давать задания проектировщикам-строителям на эти устройства.

Качество освещения имеет решающее значение для зрения. Желательно уделять больше внимания ограничению прямой и отраженной блескости. Прямая, создаваемая светильниками общего освещения, нормируется показателем ослепленности. Ограничить отраженную блескость можно, выполняя требования к размещению светильников общего и местного освещения, а также

их расположению по отношению к рабочему месту и к глазам работающего. Коэффициент пульсации освещенности также является нормируемым качественным показателем. Для каждого отдельного помещения должен быть указан коэффициент пульсации освещенности и меры по его обеспечению. Для тех видов производств, где могут иметь место периодические колебания напряжения, связанные с включением мощных электродвигателей и других энергоемких электротехнических устройств, необходимо рекомендовать меры по ограничению колебаний напряжения в осветительных сетях. Аналогичные требования относятся и к п. В «Совмещенное освещение».

Разработку отраслевых норм начинают с определения условий зрительной работы. Для этого изучают технологический процесс и технологическое оборудование по литературным источникам, составляют общее представление о способе обработки сырья, требуемой точности при изготовлении отдельных деталей, узлов или выпускаемого изделия в целом, а также о применяемом оборудовании. Подбранная литература должна соответствовать современному уровню техники.

Более точное и подробное изучение условий зрительной работы осуществляется на предприятиях. Выбор предприятия производится по следующим признакам: на этих предприятиях должны производиться основные виды изделий отрасли или подотрасли; в число выбранных для обследования должны быть включены предприятия с прогрессивной технологией, оснащенные современным оборудованием, а также некоторые старые предприятия, технологическое производство на которых не устарело. Вспомогательные цехи, как, например, ремонтно-механические, насосные, котельные и т. д., нормы для которых указаны в приложении главы СНиП II-4—79, из обследования исключаются. При наличии нескольких цехов одинакового назначения обследованию подлежит только один, если остальные не отличаются какими-либо технологическими особенностями. Обследование рекомендуется проводить по ходу технологического процесса.

Изучение рабочих операций начинается с ознакомления с технологическими картами (заводскими нормами), опроса рабочих и технологов и наблюдений за ходом работы. Основные параметры изучаемой операции сводят в табл. 2.23 (форму). Желательно сфотографировать рабочее место и местное освещение, если оно имеется при выполнении рабочей операции.

Табл. 2.23 состоит из 16 граф. В графы 3 и 4 заносятся данные, характеризующие рабочую поверхность стола, верстака, части оборудования или изделия, на которой производится работа и нормируется или измеряется освещенность. *Условная рабочая поверхность* — условно принятая горизонтальная поверхность, расположенная на высоте 0,8 м от пола.

Фоном (графы 5 и 6 табл. 2.23) называется поверхность, прилегающая непосредственно к объекту различения, на которой

Таблица 2.23

№ п/п	Наименование помещения, операции	Рабочая поверхность		Фон		Направление светового потока	Объекты различения				Контраст объекта с фоном	Время зрительной работы	Дополнительные рабочие поверхности*	Разряд и подразряд по главе СНиПа	Дополнительные указания
		наименование	плоскость расположения	наименование	коэффициент отражения		наименование	плоскость расположения	размер, мм	расстояние (т.е. до объекта, мм)					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16

* На токарном станке основное рабочее место — сопряжение резца с металлом, дополнительные кнопки и рукоятки управления, мерительный инструмент, расположение заготовок и т. д.

он рассматривается. Фон считается светлым при коэффициенте отражения поверхности более 0,4; средним — от 0,2 до 0,4; темным — менее 0,2. Оптические свойства фона следует определять в пределах, характеризующихся подрайдами норм освещения.

При диффузно рассеивающих поверхностях коэффициент отражения можно определить с помощью серой или цветной шкалы образцов, интегральные коэффициенты отражения которых проверены в фотометрической лаборатории.

Если поверхность фона имеет направленное или направленно-рассеянное отражение, то значение коэффициента яркости будет зависеть от взаимного расположения светильника, фона и глаз наблюдателя. Направленным отражением обладают стеклянные и металлические шлифованные или полированные поверхности; некоторые из них могут иметь направленно-рассеянное отражение. В этих случаях фон можно считать светлым или средним. В остальных случаях отражение бывает смешанным за счет диффузной составляющей самого материала или какой-либо подложки, если зеркально отражающий слой наложен на диффузно-рассеивающий материал (лакированная фанера, блестящие галоши, сапоги резиновые и т. д.). Оптические свойства материала фона следует определять по коэффициенту отражения подложки или диффузной составляющей. Удобнее всего измерять коэффициент отражения подложки, если она имеется,

без зеркально отражающего покрытия. Например, на мебельной фабрике всегда есть неполированная фанера, на галошной — нелакированные галоши и т. д. При однородной поверхности фона коэффициент диффузного отражения можно также измерить шкалой образцов при условии, если в глаза наблюдателя не будет попадать направленное отражение.

Графы 8—11 табл. 2.23 относятся к объекту различения. В графе 10 указывается минимальный размер объекта различения (например, диаметр нити на ткацком станке, допустимый размер дефекта на полированной поверхности, толщина буквы или цифры в печатном тексте и т. д.). Для определения размера можно использовать мерительную лупу.

При наличии рельефных объектов фактически видимый размер объекта различения определяется распределением яркости по нему, что связано с направлением светового потока на рабочую поверхность.

Контраст объекта с фоном K находят по формуле

$$K = (L_0 - L_f) / L_f \quad (2.5)$$

где L_0 — яркость объекта различения, кд/м²; L_f — яркость фона, кд/м².

Контраст объекта с фоном считается большим при K более 0,5 (объект и фон резко различаются по яркости), средним при K от 0,2 до 0,5 (объект и фон заметно отличаются по яркости); малым K менее 0,2 (объект и фон мало отличаются по яркости).

Время, отведенное на операцию, можно определять следующим образом: по хронометрической карте; по скорости движения конвейера или другого агрегата и числа изготовленных за определенное время изделий. При отсутствии каких-либо внешних ограничений условий время предъявления объекта можно считать неограниченным. Время зрительной работы в процентах (графа 13) к общему рабочему времени определяется по технологической карте или хронометражем. При изучении рабочей операции необходимо установить размеры зоны, которая должна находиться в поле зрения работающего. На каждом металлорежущем станке кроме режущего инструмента имеется зона управления станком, занимающая большое пространство. Поверхность столешницы монтажного стола является вспомогательной рабочей поверхностью, где размещены инструменты, различные приспособления и т. д. Это позволит учесть требования к освещению дополнительных рабочих мест, таких, как пульт управления станком, освещение мерительного инструмента, рабочей поверхности монтажных столов, где размещены инструменты, различные приспособления и т. д. (см. графу 14 табл. 2.23). На основании размера объекта различения выбирается согласно требованиям общесоюзных норм разряд зрительной работы, а по контрасту объекта с фоном и коэффициенту его отражения — ее подразряд. Данные граф 13, 14, 16 табл. 2.23 позволяют скорректировать значения освещенности согласно остальным требованиям общесоюзных норм. С помощью

данных графы 15 табл. 2.23 можно правильно определить выбор системы освещения и уровень нормируемой освещенности от общего освещения с учетом дополнительных рабочих поверхностей (управление станком, размещение инструмента и т. д.).

В графе 16 табл. 2.23 должны быть отмечены свойственные данной рабочей операции характерные особенности и приметы, которые не отражены в остальных графах таблицы, и, например, расстояние от глаза наблюдателя до объекта различения, если оно превышает 0,5 м, и т. д.

Приведенные данные позволяют скорректировать согласно общесоюзным нормам значение освещенности, полученное по разряду и подразряду зрительной работы. В графе 16 можно указать условия среды (если они отличаются от нормальных) для определения выбора светильников. Эти условия определяются в соответствии с действующей классификацией.

Одновременно с изучением технологии производства и условий зрительной работы на предприятии ведется обследование действующих осветительных установок с целью выявления соответствия их технологии и гигиены труда. Результаты обследования используются при разработке рекомендаций к выбору источников света, светильников, их размещения и т. д. При обследовании следует обратить внимание на местное освещение. Результаты обследования заносят в карту.

Карта обследования установки искусственного освещения предприятия

А. Условия труда и характеристика помещения.

1. Условия труда в помещении

2. Характеристика помещения:

высота (от пола до потолка или фермы), м
шаг между колоннами (вдоль, поперек), м
наличие затеняющих конструкций (различные краны, вентиляционные короба, площадки, трапы) (нужное подчеркнуть)

окраска: потолка или ферм, стен, панелей

пола, оборудования

светопроемы для естественного освещения (габаритные размеры)

материал переплетов

материал остекления

3. Характеристика технического этажа (для освещения и других целей):

перекрытие (материал несущих конструкций и конструкций плит)

высота чердачного покрытия

остекление проема для светильников

материал

толщина

коэффициент пропускания

коэффициент рассеяния

система вентиляции

Б. Светотехническая характеристика установки

Система освещения:

источники света (тип и мощность, завод-изготовитель, цветность)

общее освещение местное освещение

Наличие искусственных окон
Размещение светильников местного освещения по отношению к детали и глазу работающего
Тип пускорегулирующего аппарата (ПРА) Схема питания ламп (расфазировка)
Удельная установленная мощность:
общего освещения, Вт/м²
комбинированного освещения, Вт/м²
Способ компенсации ультрафиолетовой недостаточности (фонари, светильники общего освещения с эритемными лампами и т. д.)
Соблюдение требований норм естественного освещения
В. Результаты измерения освещенности и яркости (табл. 2.24—форма)
1. Измерения производятся в обычных условиях эксплуатации, а также в условиях полного соответствия установки проектным данным
2. При измерениях фиксируются напряжение сети, температура и относительная влажность в помещении

Таблица 2.24

Номера точек на схеме	Наименование поверхности	Измеряемая величина	Плоскость измерения	Условия измерения (фильтр-шкала)	Показания прибора	Действительная величина	Дополнительные указания

Г. Электрическая характеристика установки

Напряжение сети: В

номинальное В

местного освещения — номинальное В

Колебания напряжения: раз в В, их глубина в %

к номинальному

Схема питания сети рабочего, местного, аварийного

Схема включения газоразрядных ламп

Наличие заземления или зануления осветительного оборудования

Д. Эксплуатационные характеристики установки

Состояние светильников общего и местного освещения

Периодичность очистки светильников: раз в год; местного освещения

общего освещения раз в неделю.

Приспособление для подхода к светильникам общего освещения (с приведением их фото и указанием завода-изготовителя)

Способы и средства очистки светильников: общего освещения

местного освещения

Стоимость очистки светильников руб.

Сроки предупредительного ремонта. Кто отвечает за осветительную установку цеха, завода (фабрики)

После заполнения табл. 2.23 и обследования осветительных установок можно приступить к составлению норм.

По размеру объекта определяют разряд зрительной работы согласно действующим общесоюзным нормам. Контраст объекта с фоном и коэффициент отражения фона позволяют установить подразряд зрительной работы. Эти данные с учетом остальных характеристик зрительного процесса дают возможность установить уровни освещенности.

В ответственных осветительных установках для проверки качества предлагаемых решений и получения эксплуатационных характеристик рекомендуется проводить исследования на опытных осветительных установках.

В табл. 2.25 приведены нормируемые уровни освещенности и регламентируемые качественные показатели осветительных установок. При наличии помещений без естественного света или с недостаточным по нормам естественным освещением в таблицу следует включать дополнительные данные по этому помещению, соответственно расширив ее.

При рекомендации использования ламп накаливания и газоразрядных источников света число граф должно быть увеличено.

При наличии в отрасли или подотрасли нескольких производств (ткацкие и прядильные фабрики в текстильной промышленности; электромашиностроительные, ламповые, кабельные, трансформаторные и другие заводы в электротехнической промышленности) следует перед заполнением граф таблицы назвать рассматриваемое производство.

Рекомендуется объединять однородные технологические операции с одинаковыми требованиями к освещению. Если в нормах разных отраслей и подотраслей часто встречаются характерные технологические процессы, их необходимо объединить и вынести в начало или конец таблицы, и о чем должна быть ссылка в тексте при рассмотрении этой таблицы.

Если качественные показатели или коэффициенты запаса одинаковы для подавляющего числа производств, то их значение следует дать в тексте.

В подзаголовке второй графы кроме наименования рабочей поверхности или технологического процесса дано название помещения. Это сделано с целью нормирования для некоторых видов помещений кроме освещенности на рабочем месте, еще и освещенности по помещению в целом (как при системе одного общего освещения, так и общего в системе комбинированного).

При этом уровень освещенности выбирают по операциям наибольшей точности, занимающим в технологическом процессе не менее 25% всех технологических операций, производимых в данном помещении. Необходимость в таком нормировании может быть при: различной точности работ, производимых в одном помещении; наличии большого числа дополнительных рабочих поверхностей — механический, инструментальный, печатный и офсетный цехи типографии и т. д.; наличии помещений, требующих повышенной чистоты воздуха, — пищевая промышленность, точное приборостроение и т. д.; расположении рабочих мест в различных плоскостях и на разных уровнях. Нормированная горизонтальная освещенность на уровне 0,8 м от пола не всегда обеспечивает освещенность на рабочих местах. Поэтому в данном случае при соблюдении нормы освещенности на условной рабочей поверхности необходимо обеспечивать и нормы освещенности на каждом рабочем месте в заданной плоскости.

Таблица 2.25

Наименование помещений, производственной операции	Наименование рабочей поверхности, на которой нормируется освещенность	Плоскость, в которой нормируется освещенность	Фон	Разряд и подразряд зрительной работы	Значение при естественном освещении, %	Нормированная освещенность**, лк				Показатель освещенности, не более	Коэффициент пульсации, %	Дополнительные указания		
						Помещения с естественным освещением (с смешением)	Помещения без естественного освещения или с недостаточным естественным освещением	одно общее	комбинированное				от общего	всего
					верх-бок-ней и вом ком-бинированном $E_{\text{ср}}$	одн-об-щес	комбинированное	одно общее	комбинированное	от общего	всего			

Производство тугоплавких металлов

Наименование помещений, производственной операции	Наименование рабочей поверхности, на которой нормируется освещенность	Плоскость, в которой нормируется освещенность	Фон	Разряд и подразряд зрительной работы	Значение $E_{\text{норм}}$ при естественном освещении, %	Нормированная освещенность**, лк					Показатель ослепленности, не более	Коеф-фициент пульсации, %	Дополнительные указания		
						Помещения с естественным освещением	Помещения (без естественного) освещения или с недостаточным естественным освещением	одно общее	комбинированное	комбини- рованное				сбоку	
															сбоку
Сварка вольфрамовых электродов и прутков	Место сварки сварочного аппарата	Горизонтальная	Средний	VII											
Контроль спеченных и сваренных штабиков	Стол контроля	Горизонтальная	Темный	IIIa											

* При дробном обозначении коэффициента пульсации в числителе указывается нормируемая величина для общего освещения, в знаменателе — для местного.
 ** Только при газоразрядных источниках света.

Если эвакуационное освещение полностью соответствует требованиям СНиПа, то в текстовой части следует на нее сослаться. Уровни аварийного освещения указывают в отдельной таблице, не включая их в основную.

В графе 17 табл. 2.25 указываются такие дополнительные требования к осветительной установке, как, например, яркость выходного отверстия светильника при работе на просвет — лекальные работы, браковка мелких деталей на светящихся поверхностях и т. д., а также работа с направленно-отражающими поверхностями; причины повышения уровня освещенности согласно требованиям норм.

Особенности применения совмещенного освещения. Совмещенное (естественное + искусственное) освещение производственных зданий применяется для обеспечения с учетом санитарно-гигиенических требований комфортных условий для зрения на всех участках технологического процесса и рабочих местах с недостаточным естественным освещением. При этом необходимо технико-экономическое преимущество его в сравнении с вариантами естественного освещения этих зданий.

Уровень освещенности, создаваемый дополнительным освещением, должен соответствовать главе СНиПа по проектированию естественного и искусственного освещения. При этом искусственное освещение должно обеспечивать единство зрительного восприятия такого освещения, а система регулирования дополнительного искусственного освещения — стабильность освещения на всех рабочих местах в течение рабочего времени и во все времена года.

При выборе типов и расположения светильников дополнительного искусственного освещения в помещениях и их зонах с недостаточным естественным освещением учитывается принятая система естественного освещения (боковое, верхнее или комбинированное), объемно-планировочное решение помещения и его назначение, выполняемая зрительная работа и расположение оборудования.

Для создания требуемой цветности излучения дополнительного искусственного освещения рекомендуются использовать люминесцентные лампы типов ЛДЦ, ЛБЦТ, а в помещениях высотой более 8 м и значительной площади — галогенные лампы накаливания или ксеноновые лампы (по согласованию с органами Государственной санитарной инспекции СССР).

Созданию зрительного комфорта при выполнении точных зрительных работ в помещениях с совмещенным освещением способствует выбор оптимального соотношения яркостей рабочей поверхности, поверхностей интерьера и светильников за счет применения светлой окраски поверхностей ограждений помещения и оборудования.

В помещениях без подвесного потолка для обеспечения его подсветки и стен следует применять светильники прямого и рассеянного света.

При совмещенном освещении производственных помещений с точными зрительными работами (I—III разрядов) не допускают-

ся большие колебания освещенности. Дополнительное искусственное освещение в этих случаях следует предусматривать с автоматическим последовательным включением групп светильников в зависимости от уровня естественного освещения.

Глава 3 СВЕТОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

§ 3.1. Общие положения

Цель расчета осветительной установки заключается в определении числа и мощности источников света, обеспечивающих нормированную (с учетом коэффициентов запаса) освещенность, либо определение по заданному размещению светильников и мощности источников света, в них используемых, создаваемой на рабочих или условно рабочих поверхностях освещенности.

Рабочей поверхностью при этих расчетах следует принимать такую, на которой производится работа, например поверхность верстака, столешница стола, части оборудования или изделия, на которой производится работа. Под условной рабочей поверхностью понимается условно принятая горизонтальная поверхность, расположенная на высоте 0,8 м от пола.

Освещенность на рабочей поверхности создается световым потоком, поступающим непосредственно от светильников (прямая составляющая освещенности — $E_{пр}$), и отраженным, падающим на расчетную поверхность в результате многократных отражений от стен, потолка, пола, оборудования (отраженная составляющая освещенности — E_o): $E = E_{пр} + E_o$.

Прямую составляющую освещенности рассчитывают на основании кривой силы света светильника и расположения светильников относительно выбранной точки на рабочей поверхности, и поэтому ее значение на отдельных участках рабочей поверхности может быть различным.

Отраженная составляющая освещенности (E_o) определяется световым потоком, падающим на отражающие поверхности непосредственно от светильников (т. е. определяется светораспределением светильников), отражающими свойствами ограждающих поверхностей помещения (в основном их коэффициентом отражения), а также соотношением размеров освещаемого помещения.

Многочисленные отражения светового потока, возникающие между поверхностями потолка, пола, стен, открывающих предметов и оборудования, обуславливают сравнительно равномерное распределение отраженной составляющей освещенности по рабочей поверхности. Метод расчета прямой составляющей освещенности выбирают в зависимости от применяемых светящихся элементов проектируемой осветительной установки. В зависимости от соотношения размера светящихся элементов и расстояний их до освещаемой

поверхности все светящиеся элементы можно разделить на три группы: точечные, линейные и светящие поверхности.

Точечность светящего элемента обычно определяется его относительными размерами по отношению к расстоянию до освещаемой точки пространства. Практически принято считать светящее тело точечным, если его размеры не превышают 0,2 расстояния до освещаемой точки пространства.

Поэтому в практике расчета точечный осветительный прибор принимается за светящую точку с условно выбранным световым центром, характеризующим силой света по всем направлениям.

К точным светящим элементам относятся: прожекторы, осветительные приборы с лампами накаливания и газоразрядными лампами типов ДРЛ, МГЛ, НЛВД, НЛНД и т. д.

Положение осветительного прибора, имеющего ось симметрии (точечный элемент), относительно расчетной точки в общем случае определяется следующими координатами (рис. 3.1): h_p — высотой расположения осветительного прибора относительно расчетной плоскости; α — углом, определяющим направление силы света в расчетную точку.

Осветительный прибор, находящийся на расстоянии от расчетной поверхности, соизмеримом с его размером, нельзя рассматривать как точечный. Светораспределение такого светильника определяется не кривой силы света, а кривыми равной освещенности в расчетной плоскости. Поэтому расположение светильника местного освещения относительно расчетной точки будет определяться координатами: h_p и d , где d — расстояние от проекции оси светильника на освещаемую поверхность до расчетной точки (см. рис. 3.1).

К линейным светящим элементам относятся светящие элементы, имеющие несоизмеримо малые размеры по одной из осей по сравнению с размерами по другой.

В практике расчета к светящим линиям относятся излучатели, длина которых превышает половину расчетной высоты h_p . Это прежде всего люминесцентные светильники, расположенные непрерывными линиями или линиями с разрывами, а также протяженные светящие панели, длина которых соизмерима с расстоянием до освещаемой поверхности. Основной характеристикой линейных источников излучения является удельная сила света, под которой понимают силу света, излучаемую единицей длины источника (1 м) в плоскости, перпендикулярной его оси, и кривые силы света в продольной и поперечной плоскостях. Положение светящей линии относительно точки расчета определяется: h_p — высотой расположения светящей линии относительно расчетной точки и двумя углами: γ — в попереч-

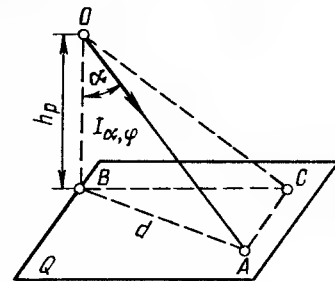


Рис. 3.1. Координаты, определяющие положение точечного светящего элемента относительно расчетной точки

ной плоскости, перпендикулярной оси лампы и проходящей через точку расчета, и углом φ , под которым видна светящая линия из точки расчета (рис. 3.2).

К светящим поверхностям, для которых нельзя применить закон квадратов расстояний из-за значительной погрешности, возникающей в расчете, относятся установки отраженного света в виде световых потолков или ниш; панели, перекрытые рассеивателями или решетчатыми затенителями. Размеры этих светящих

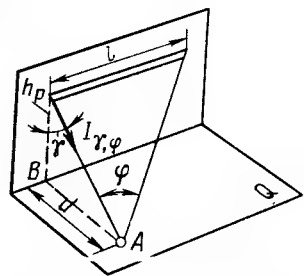


Рис. 3.2. Координаты, определяющие положение линейного светящего элемента относительно расчетной точки

элементов соизмеримы с расстоянием до расчетной точки. Светящие элементы этой группы характеризуются следующими показателями: формой и размером светящей поверхности, распределением яркости по различным направлениям пространства и по светящей поверхности. Световые потолки в установках отраженного света, а также световые потолки и панели, перекрытые рассеивателем, обладают практически одинаковой яркостью по всем направлениям пространства. Исключение составляют лишь светящие поверхности, перекрытые решетчатыми затенителями, защитный угол которых может существенно влиять на распределение яркости в пространстве.

При расчете осветительных установок этого типа можно принимать яркость светящей поверхности равной ее среднему значению.

Наибольшее применение при проектировании получили светящие элементы первой и второй групп.

Светящие поверхности, требующие значительной установленной мощности, используют в установках архитектурного освещения, когда кроме утилитарных требований предъявляются еще и архитектурно-художественные требования.

Необходимо иметь в виду, что в зависимости от условий применения светящий элемент может быть отнесен к различным группам. Так, линейный светящий элемент может рассматриваться как точечный, если его длина в два раза меньше расстояния до точки, в которой определяется создаваемая им освещенность, при этом погрешность в расчете не превышает 5%. Аналогичное допущение может быть принято для равномерно светящего диска, если расстояние, на котором определяется освещенность, превышает в 2,5 раза диаметр диска. Расчет отраженной составляющей заключается в определении первоначально попавшего непосредственно от светильников светового потока на отражающие поверхности ограждающих помещения поверхностей.

Однако необходимо учесть, что доля светового потока, попадающего на отражающие поверхности (пол, потолок, стены и оборудование), зависит от светораспределения светящих элементов

и их размещения в помещении и будет различной для каждой группы светящих элементов.

§ 3.2. Расчет прямой составляющей освещенности от точечных излучателей с симметричным светораспределением

Рассмотрим общий случай расчета освещенности от светящего элемента с симметричным светораспределением, характеризуемого зависимостью $I_\alpha = f(\alpha)$. Для определения освещенности необходимо знать значение направленной к освещаемой площадке силы света I (расстояние l от светильника значительно превышает размеры); расстояние l от освещаемой поверхности S до излучателя и угол падения света β (угол между лучом и нормалью к площадке, рис. 3.3).

Строя элементарный телесный угол $d\omega$, угол опирающийся на dS и считая, что в этом угле излучается световой поток $d\Phi$, получим

$$E = d\Phi/dS; d\Phi = Id\omega; d\omega = (dS \cos \beta) / l^2$$

и окончательно

$$E = (I_\alpha \cos \beta) / l^2, \quad (3.1)$$

где I_α — сила света светильника по направлению к точке A ; β — угол между направлением силы света в точку A и нормалью к элементу dS ; l — расстояние от светильника до расчетной точки поверхности.

Преобразуем приведенное уравнение к виду, более удобному для практических расчетов. Из рис. 3.3 имеем: $\cos \beta = OB/l$. В свою очередь

$$OB = h_p \cos \theta \pm p \sin \theta,$$

откуда

$$\cos \beta = \frac{h_p \cos \theta \pm p \sin \theta}{l}.$$

Подставляя h_p в уравнение (3.1), будем иметь

$$E_A = \frac{I_\alpha}{l^3} (h_p \cos \theta \pm p \sin \theta). \quad (3.2)$$

Так как $l = h_p / \cos \alpha$, то окончательное расчетное уравнение для определения освещенности на наклонной поверхности примет вид

$$E_A = \frac{I_\alpha \cos^3 \alpha}{h_p^2} (\cos \theta \pm \frac{p}{h_p} \sin \theta), \quad (3.3)$$

где θ — угол наклона расчетной плоскости по отношению к плоскости, перпендикулярной оси симметрии светильника (горизонтальной).

* Знак минус в уравнении при $\theta > \pi/2 + \alpha$.

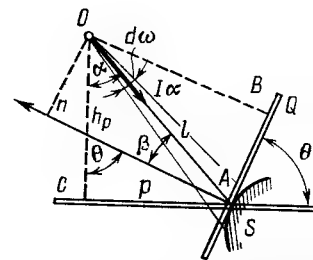


Рис. 3.3. К расчету освещенности от точечного светящего элемента с симметричным светораспределением

тальная плоскость); α — угол между направлением силы света к расчетной точке и осью симметрии светильника; h_p — высота светильника над горизонтальной плоскостью, проходящей через расчетную точку; p — кратчайшее расстояние от проекции оси симметрии светильника на горизонтальную плоскость, проходящую через точку расчета, до следа пересечения с расчетной плоскостью.

Для упрощения расчета освещенности на поверхности, произвольно ориентированной в пространстве, Е. Н. Яковлевым предложена номограмма зависимости

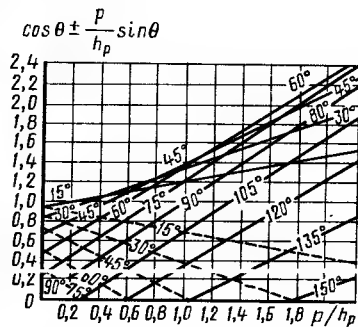


Рис. 3.4. Номограмма для расчета освещенности на наклонной плоскости

ли $\cos \theta \pm \frac{p}{h_p} \sin \theta$ от p/h_p для различных значений $\theta = \text{const}$ (рис. 3.4). Определяя предварительно по чертежу значения p , h_p и θ , из графиков находим выражение $\cos \theta + \frac{p}{h_p} \sin \theta$ (сплошные кривые).

или $\cos \theta - \frac{p}{h_p} \sin \theta$ (пунктирные кривые).

Проектирование осветительных установок чаще всего связано с расчетом освещенности на поверхности, перпендикулярной или парал-

лельной оси симметрии светильника; расчет освещенности на наклонной плоскости встречается значительно реже. В производственных и общественных зданиях принято размещать светильники так, что их ось симметрии располагается вертикально, перпендикулярно расчетной горизонтальной плоскости (рис. 3.5). Согласно этому рисунку угол $\theta = 0$ и уравнение (3.3) примет вид

$$E_r = (I_a \cos^3 \alpha) / h_p^2, \quad (3.4)$$

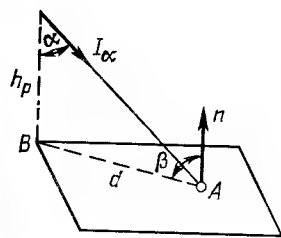
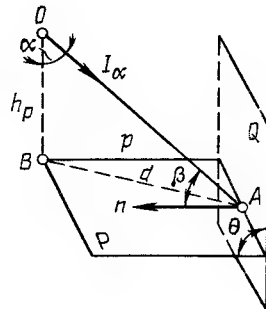


Рис. 3.5. К расчету освещенности на горизонтальной плоскости

Рис. 3.6. К расчету освещенности на вертикальной плоскости.



где E_r — освещенность горизонтальной плоскости в точке А.

Освещенность наклонной плоскости можно получить через освещенность горизонтальной плоскости из уравнения

$$E_A = E_r (\cos \theta \pm \frac{p}{h_p} \sin \theta).$$

При оси симметрии светильника, параллельной расчетной плоскости (рис. 3.6), угол $\theta = \pi/2$, и уравнение, определяющее освещенность, преобразуется к виду

$$E_A = \frac{I_a \cos^3 \alpha}{h_p^2} \frac{p}{h_p} = E_r \frac{p}{h_p}, \quad (3.5)$$

где E_A — освещенность вертикальной плоскости в точке А; p — наименьшее расстояние от проекции оси симметрии светильника на горизонтальную плоскость, проходящую через точку расчета, до следа пересечения вертикальной и горизонтальной плоскостей.

Уравнения (3.4) и (3.5) позволяют сформулировать общее правило, справедливое для любого точечного источника: *отношение значений освещенности двух плоскостей в одной и той же точке равно отношению длин перпендикуляров, опущенных на эти плоскости из точки расположения источника света.*

При расчете освещенности от симметричных светильников необходимо соблюдать такую последовательность.

1. По отношению d/h_p определяют $\tan \alpha$, а следовательно, и угол α и $\cos^3 \alpha$ (d — расстояние от расчетной точки до проекции оси симметрии светильника на плоскость, ей перпендикулярную и проходящую через расчетную точку).

2. По кривой силы света выбранного светильника и углу α находят силу света I_a .

3. По уравнениям (3.4), (3.5), (3.3) рассчитывают освещенность в горизонтальной, вертикальной или наклонной плоскостях.

Пример 3.1. Помещение площадью 10×10 м² и высотой 5 м освещается четырьмя светильниками типа УПД ДРЛ с лампами ДРЛ мощностью 400 Вт ($F_{\lambda} = 19000$ лм). Светильники располагают по углам квадрата со стороной 5 м. Высота подвеса светильников $h_p = 4,5$ м. Определить освещенность горизонтальной, вертикальной и наклонной (под углом $\theta = 60^\circ$) плоскостей, расположенных на пересечении диагоналей поля светильников (рис. 3.7). Расчет освещенности ведем, придерживаясь намеченной последовательности 1. Определяем $\tan \alpha$ (см. рис. 3.3)

$$\tan \alpha = d/h_p = \sqrt{2,5^2 + 2,5^2}/4,5 = 3,54/4,5 \approx 0,786.$$

2. Определяем угол α и $\cos^3 \alpha$:

$$\alpha = 38^\circ; \quad \cos^3 \alpha = 0,49.$$

3. По табл. прил. 1 находим силу света под углом 38° для светильника УПД ДРЛ с условной лампой $(I_a)_{1000} = 214$ кд (интерполируем между значениями силы света для угла $\alpha = 35$ и 45°):

Фактическая сила света

$$I_a = 214 \frac{19000}{1000} = 4066 \text{ кд.}$$

4. Подсчитаем освещенность горизонтальной плоскости.

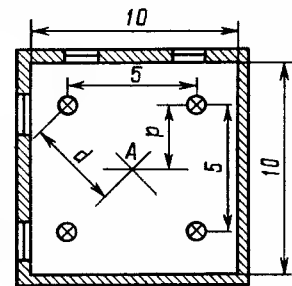


Рис. 3.7. К примеру расчета освещенности от симметричных светильников общего освещения

Принимая коэффициент запаса $k = 1,5$, от одного светильника имеем

$$E_r = \frac{I_a \cos^3 \alpha}{h_p^2 k} = \frac{4066 \cdot 0,49}{4,5^2 \cdot 1,5} \approx 65,6 \text{ лк.}$$

Так как каждый из четырех светильников создает в точке расчета одинаковую освещенность, то, следовательно, суммарная освещенность $\Sigma E_r = 4E_r = 4 \cdot 65,6 = 263 \text{ лк.}$

5. Подсчитаем освещенность вертикальной плоскости.

Так как расчетная точка, лежащая в вертикальной плоскости, освещается только двумя светильниками, то освещенность вертикальной плоскости

$$E_v = 2E_r \frac{p}{h_p} = 2 \cdot 65,6 \frac{2,5}{4,5} \approx 73 \text{ лк.}$$

6. Подсчитываем освещенность в наклонной плоскости:

$$E_A = 2E_{Ar} (\cos \theta \pm \frac{p}{h_p} \sin \theta)$$

$$E_A = 2 \cdot 65,6 (\cos 60^\circ + \frac{2,5}{4,5} \sin 60^\circ) \approx 129 \text{ лк.}$$

Рассчитывать освещенность по приведенным уравнениям при большом количестве светильников сложно, так как необходимо определять освещенность от каждого светильника в отдельности и потом суммировать полученные значения освещенностей.

Рассмотрим наиболее распространенные в практике проектирования упрощенные способы расчета.

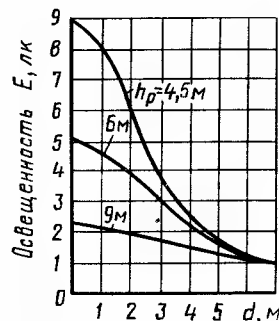


Рис. 3.8. Элементарные кривые освещенности

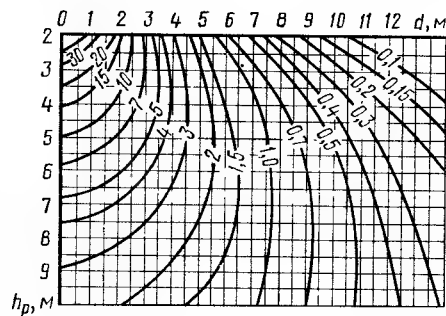


Рис. 3.9. Пространственные изолюксы условной горизонтальной освещенности. Светильники У, УПМ-15, УП-24, Астра 1, 11, 12

Использование элементарных кривых освещенности $E = f(\alpha)$ значительно сокращает и упрощает расчет осветительных установок с большим числом одинаковых светильников общего освещения, расположенных на одной и той же высоте. Такие кривые приведены для заданного типа светильника на рис. 3.8. Для разных высот установки светильников ($h_p = \text{const}$) дана зависимость

освещенности E от расстояния проекции оси симметрии светильника до расчетной точки (d , м). Кривые строятся для условной лампы, имеющей световой поток 1000 лм.

Для расчета осветительных установок часто используют пространственные изолюксы горизонтальной освещенности. Построение таких кривых осуществляется для каждого применяемого типа светильника, при этом световой поток лампы (при многоламповых светильниках — суммарный поток ламп) принимается равным 1000 лм. Создаваемая в этом случае освещенность называется условной и обозначается ϵ . Значение ϵ зависит от светораспределения светильника и геометрических размеров d и h_p (см. рис. 3.1). Для определения ϵ служат пространственные изолюксы условной горизонтальной освещенности (для светильников У, УПМ-15, УП-24, Астра-1, 11, 12 они показаны на рис. 3.9), на которых находится точка с заданными d и h_p (d , как правило, определяется обмером по масштабному плану), и ϵ находится путем интерполирования между значениями, указанными у ближайших изолюкс. Аналогичные графики, построенные по данным измерений, могут применяться для расчета местного освещения.

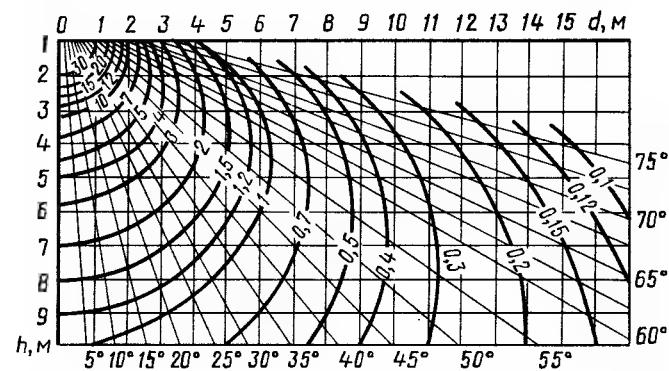


Рис. 3.10. Пространственные изолюксы условной горизонтальной освещенности. Сила света светильника по всем направлениям 100 кд

При отсутствии изолюкс для данного светильника используется график для излучателя, имеющего по всем направлениям силу света, равную 100 кд (рис. 3.10). Значение условной освещенности определяется так же, как указано ранее. По кривой силы света светильника в данном направлении и значению ϵ_{100} несложно вычислить ϵ :

$$\epsilon = \epsilon_{100} \frac{I_a}{100}. \quad (3.6)$$

Если суммарное действие «ближайших» светильников создает в расчетной точке условную освещенность $\Sigma \epsilon$, действие более удаленных светильников и отраженную составляющую учтем коэффициентом μ . Тогда для получения в расчетной точке нормирован-

ной освещенности E_n при коэффициенте запаса k лампы в каждом светильнике должны иметь световой поток Φ :

$$\Phi = 1000 E_n k / (\mu \Sigma \epsilon). \quad (3.7)$$

По этому световому потоку выбирают ближайшую стандартную лампу, световой поток которой Φ_n должен находиться в пределах $0,9\Phi < \Phi_n \leq 1,2\Phi$. Если эти пределы при выборе лампы не могут быть выполнены, то корректируется расположение светильников. По формуле (3.7) можно определить освещенность при известном световом потоке.

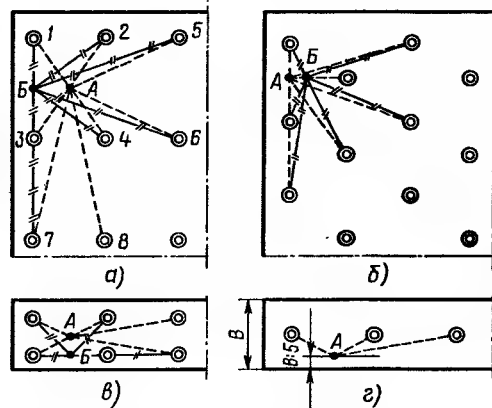


Рис. 3.11. Расчетные точки освещенности

Характерные точки расчета для общего равномерного освещения показаны на рис. 3.11.

При более часто встречающемся расположении светильников, например рядами вдоль светотехнических мостиков, расчетную точку выбирают между рядами на расстоянии, примерно равном расчетной высоте от торцевой стены.

В принципе не следует выскидывать точки абсолютного минимума освещенности у стен или в углах: если в подобных точках есть рабочие места, то доведение в них освещенности до требуемого значения может быть осуществлено увеличением мощности ближайших светильников или установкой дополнительных светильников. Часто при расчетах возникают затруднения в определении числа светильников, которые необходимо учитывать при нахождении $\Sigma \epsilon$. Обычно принимаются светильники с трех наименьших расстояний d . На рис. 3.11 расчетные точки соединены линиями с теми светильниками, от которых обычно определяются значения ϵ . В общем случае чем меньше L/h_p (L — расстояние между светильниками, h_p — высота установки светильника над расчетной поверхностью) и чем шире светораспределение светильника, тем большую роль играют удаленные светильники и тем тщательнее следует их учитывать.

Во всех случаях при определении $\Sigma \epsilon$ не должны учитываться светильники, реально не создающие освещенности в контрольной точке из-за затенений оборудованием или корпусом рабочего.

Пример 3.2. В помещении, часть которого показана на рис. 3.11, а—г необходимо обеспечить освещенность 100 лк при коэффициенте запаса $k=1,5$, используя светильники типа УПМ-15, установленные на высоте 3 м. Расстояние между светильниками в ряду 4 м, расстояние между рядами светильников 6 м. Определить тип лампы накаливания.

Решение. По формуле (3.7) определяем световой поток Φ , необходимый для обеспечения требуемой освещенности E_n при коэффициенте запаса $k=1,5$ и коэффициенте использования $\mu=1$ (по табл. 3.1):

Расстояние d от светильника до точки расчета определяется обмером по масштабному плану. Значение ϵ определяется по графику рис. 3.9. Расчеты сведены в табл. 3.1. Наихудшей оказывается точка Б, по освещенности которой определяем необходимый поток, принимая $\mu=1,1$:

$$\Phi = \frac{1000 E_n k}{\mu \Sigma \epsilon} = \frac{1000 \cdot 100 \cdot 1,5}{1,1 \cdot 19,11} = 7136 \text{ лм,}$$

согласно приложению 2 табл. 1 выбираем лампу 500 Вт на напряжение 220 В со световым потоком 8300 лм.

Таблица 3.1

Точка	Номера светильников	Расстояние, м	Условная освещенность, лк	
			от одного светильника	от всех светильников
А	1, 2, 3, 4 5, 6 7, 8	3,6	4,5	18
		6,7	0,9	1,8
		9,2	0,3	0,6
		$\Sigma \epsilon = 20,4$		
Б	1, 3 2, 4 5, 6 7	3	7	14
		5	2	4
		8,5	0,4	0,8
		9	31	0,31

$$\Sigma \epsilon = 19,11$$

§ 3.3. Расчет прямой составляющей освещенности от точечных излучателей с несимметричным светораспределением

В отличие от расчета освещенности от светильников с симметричным светораспределением расположение точки расчета А при освещении несимметричным светильником (имеющим не ось, а плоскость симметрии) характеризуется тремя координатами: h_p , углами α и φ , отсчитываемыми от плоскости симметрии светильника ОВС (рис. 3.12). Согласно рис. 3.12 значения α и φ можно определить из формул

$$\alpha = \arctg d/h_p; \quad (3.8)$$

$$\varphi = \arctg b/a.$$

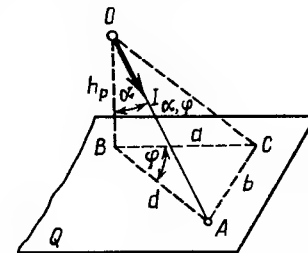


Рис. 3.12. К расчету освещенности от точечного светящегося элемента с несимметричным светораспределением

Зная углы α и φ , можно по кривым силы света определить силу света $I_{\alpha\varphi}$ по направлению к расчетной точке, а следовательно, и рассчитать освещенность поверхности в этой точке согласно уравнению (3.9)

$$E_r = I_{\alpha\varphi} \cos^3 \alpha / (h_p^2 k), \quad (3.9)$$

где $I_{\alpha\varphi}$ — сила света по направлению к расчетной точке: α — угол между направлением силы света в расчетную точку и перпендикуляром из светящей точки к плоскости расчета.

Расчет освещенности от большого числа светильников с несимметричным распределением силы света удобно производить по кривым равных значений относительной освещенности $\epsilon = I_{\alpha\varphi} \cos^3 \alpha$, построенным в полярной системе координат φ и $\operatorname{tg} \alpha$ или $\operatorname{ctg} \alpha$ (рис. 3.13) и предложенным Г. М. Кноррингом.

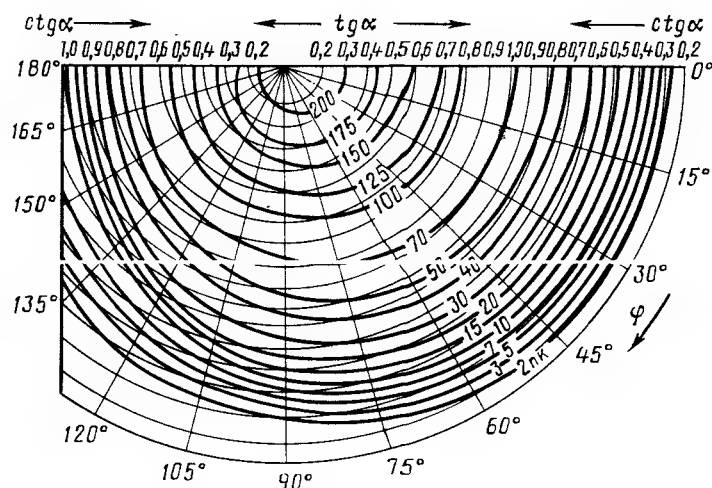


Рис. 3.13. Пространственные кривые равной относительной освещенности светильника «Кососвет»

Построение таких кривых для данного типа светильника осуществляется по кривым относительной освещенности различных продольных плоскостей $\varphi = \text{const}$.

По значению $\epsilon = I_{\alpha\varphi} \cos^3 \alpha$ и кривым $\epsilon = f(\operatorname{tg} \alpha)$ находят значение $\operatorname{tg} \alpha$, соответствующее выбранным значениям φ , которые определяют положение точек $\epsilon = \text{const}$ на соответствующих прямых $\varphi = \text{const}$ полярной системы координат.

Соединенные между собой точки позволяют получить кривую равной относительной освещенности с источником света, световой поток которого $\Phi_{\text{л}} = 1000$ лм при $h_p = 1$ м.

Расчет освещенности при использовании указанных кривых производят в следующем порядке.

1. По положению светильника относительно точки расчета освещенности определяют

$$\varphi = \arctg(b/a) \quad \text{и} \quad \operatorname{tg} \alpha = d/h_p \quad \text{или} \quad \operatorname{ctg} \alpha = h_p/d.$$

2. Согласно кривым равной относительной освещенности и значениям φ и $\operatorname{tg} \alpha$ находят $\epsilon = I_{\alpha\varphi} \cos^3 \alpha$ (см. рис. 3.13).

3. По значению ϵ рассчитывают освещенность

$$E_r = \frac{\epsilon \Phi_{\text{л}}}{h_p k 1000}.$$

Пример 3.3. Определить освещенность в точке A в горизонтальной плоскости от светильника «Кососвет», расположенного на высоте $h_p = 3$ м над расчетной плоскостью. Лампа в светильнике 150 Вт, 220 В ($\Phi_{\text{л}} = 2000$ лм). Коэффициент запаса $k = 1,3$; $a = b = 3$ м (см. рис. 3.12).

1. Определяем углы φ и $\operatorname{tg} \alpha$:

$$\varphi = \arctg(b/a) = \arctg 1; \quad \varphi = 45^\circ; \quad \operatorname{ctg} \alpha = h_p/d = 3/\sqrt{18} \approx 0,7.$$

2. Находим относительную освещенность по графику (см. рис. 3.13): $\epsilon = 32$ лк для $\operatorname{ctg} \alpha = 0,7$ и $\varphi = 45^\circ$.

3. Определяем освещенность в расчетной точке

$$E_r = \frac{\epsilon \Phi_{\text{л}}}{h_p^2 1000 k} = \frac{32 \cdot 2000}{3^2 \cdot 1000 \cdot 1,3} = 5,5 \text{ лк}.$$

Расчет прожекторного освещения имеет некоторую специфику: как правило, прожекторы устанавливают наклонно, под некоторым углом к горизонту, определяемым расположением освещаемой зоны, высотой установки прожекторов и уровнем нормируемой освещенности. Прожекторы дальнего действия имеют малые углы рассеяния ($3-5^\circ$), и поэтому малейшие неточности в определении углов максимального значения силы света могут привести к значительным ошибкам.

Прожектор заливающего света, установленный на высоте h_p от плоскости расположения расчетной точки A (рис. 3.14), имеет осевую силу света I_0 и силу света $I_{\beta_r \beta_r}$ в направлении точки A .

Направление $I_{\beta_r \beta_r}$ на точку A определяют углами β_v и β_r в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Согласно рис. 3.14 значения этих углов можно найти из следующих уравнений:

$$\begin{aligned} \beta_r &= \arctg \frac{b \cos \alpha_1}{h_p} = \arctg \frac{b \sin \alpha}{a}, \\ \beta_v &= \pm \left(\arctg \frac{a}{h_p} - \arctg \frac{a_0}{h_0} \right). \end{aligned} \quad (3.10)$$

Согласно значениям β_r и β_v по кривым силы света определяют силу света по направлению к расчетной точке A — $I_{\beta_r \beta_v}$ и по уравнению (3.11) освещенность

$$E_r = I_{\beta_r \beta_v} \cos^3 \alpha / h_p^2, \quad (3.11)$$

где α — угол между направлением силы света в расчетную точку и нормалью к освещаемой поверхности.

При расчете освещенности от большого числа прожекторов обычно пользуются вспомогательными графиками и таблицами.

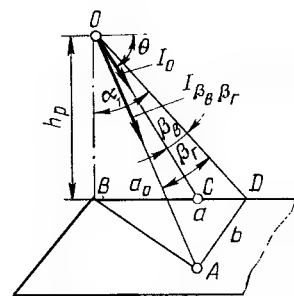


Рис. 3.14. К расчету освещенности от прожектора

В практике проектирования широко распространен метод кривых равных значений относительной освещенности, предложенный Р. А. Сапожниковым и дополненный Г. М. Кноррингом. Кривые равных значений относительной освещенности построены на плоскости, перпендикулярной оптической оси прожектора и удаленной от его светового центра на 1 м. Эти кривые строят в прямоугольной системе координат ξ и η (рис. 3.15).

Для прожекторов, имеющих две плоскости симметрии — горизонтальную и вертикальную, кривые силы света строятся в одной четверти прямоугольных координат вследствие их полной тождественности в остальных четвертях.

Для определения освещенности в точке A горизонтальной плоскости строят вспомогательную плоскость Q , проходящую через расчетную точку A и перпендикулярную оптической оси прожектора (рис. 3.16).

Освещенность в точке A плоскости Q — E_Q определяется согласно уравнению (3.4) по формуле

$$E_Q = \epsilon / r^2, \quad (3.12)$$

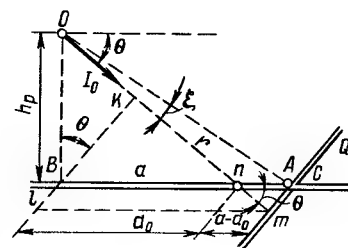
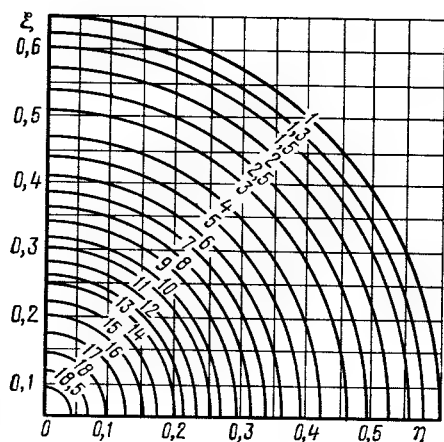


Рис. 3.16. К расчету освещенности от прожектора методом кривых равных значений относительной освещенности

← Рис. 3.15. Изолюксы на условной плоскости (килолюксы). Прожектор ПЗР-400 с лампой ДРЛ-400

где ϵ — относительная освещенность, найденная по кривым равных значений относительной освещенности для заданных координат ξ и η ; r — расстояние от прожектора до плоскости, перпендикулярной оптической оси прожектора.

Освещенность горизонтальной плоскости согласно общему правилу для точечного источника определяют по формуле

$$E_Q / E_r = r / h_p, \quad E_r = (E_Q h_p) / r.$$

Подставляя E_Q из уравнений (3.12), получим.

$$E_r = \epsilon h_p / r^3. \quad (3.13)$$

Соответственно освещенность в вертикальной плоскости, проходящей через точку A , будет иметь значение:

$$E_v = E_r p / h_p = \epsilon p / r^3, \quad (3.14)$$

где p — расстояние от проекции светового центра прожектора на расчетную плоскость до пересечения следа вертикальной плоскости с плоскостью Q .

Согласно уравнениям (3.13) и (3.14) для определения E_r и E_v необходимо иметь значение относительной освещенности ϵ , которая определяется на графике по координатам ξ и η .

Согласно рис. 3.16 из треугольников OBK и lmk :

$$r = Om = h_p \sin \theta + a \cos \theta.$$

Из треугольника Com

$$\xi = \tan \beta_a = \frac{Cm}{Om} = \frac{(a - a_0) \sin \theta}{r}. \quad (3.15)$$

Так как в общем случае расчетная точка может быть смещена в горизонтальной плоскости на некоторое расстояние b от плоскости симметрии прожектора OB , то ее положение будет определяться и второй координатой η :

$$\eta = \tan \beta_r = b / r. \quad (3.16)$$

Полученные соотношения можно путем сокращения числа независимых переменных привести к виду, более удобному для практических расчетов. Для этой цели обе части уравнений (3.15) и (3.16) разделим на h_p и отношение r/h_p обозначим через q .

Тогда получим

$$\begin{aligned} \xi &= \frac{a/h_p \sin \theta - \cos \theta}{q}; \\ q &= \sin \theta + \frac{a}{h_p} \cos \theta; \\ \eta &= b / (qh_p). \end{aligned} \quad (3.17)$$

Соответственно выражения для освещенности в вертикальной и горизонтальной плоскостях запишем как

$$\begin{aligned} E_r &= \epsilon / (q^3 h_p^2), \\ E_v &= \epsilon p / (q^3 h_p^2). \end{aligned} \quad (3.18)$$

Приведенные соотношения позволяют определить освещенность в любой точке расчетной плоскости, если заданы высота расположения прожектора h_p и угол наклона его оптической оси θ .

Пример 3.4. Проектор ПЗР-400 с лампой ДРЛ-400 установлен на высоте 10 м над освещаемой территорией. Определить освещенность горизонтальной плоскости в точке А (рис. 3.17), если угол наклона оптической оси прожектора $\theta = 30^\circ$, коэффициент запаса $k = 1,5$. Расчет ведут методом кривых равных значений относительной освещенности.

Определяем ϱ , ξ , и η :

$$\varrho = \sin \theta + \frac{a}{h_p} \cos \theta = 0,5 + \frac{30}{10} \cdot 0,515 \approx 2,$$

$$\xi = \frac{\frac{a}{h_p} \sin \theta - \cos \theta}{\varrho} = \frac{\frac{30}{10} \cdot 0,5 - 0,585}{1,83} \approx 0,5.$$

$$\eta = b/(\varrho h_p) = 5/(2 \cdot 10) = 0,25.$$

По кривым равной относительной освещенности (см. рис. 3.15) находим $\epsilon = 2,1 \cdot 10^3$. Освещенность в горизонтальной плоскости:

$$E_r = \frac{\epsilon}{\varrho^3 h_p^2 k} = \frac{2,1 \cdot 10^3}{2^3 \cdot 10^2 \cdot 1,5} = 1,75 \text{ лк}.$$

С помощью этого метода можно определить координаты точек a и b по заданной освещенности и выбранной высоте установки прожектора, т. е. получить необходимые данные для построения кривых равных значений освещенности, необходимых для расчета прожекторного освещения.

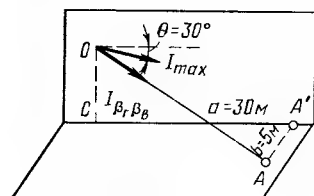


Рис. 3.17. К примеру расчета освещенности от прожектора заливающего света

Для облегчения построения таких кривых рассчитаны таблицы значений ξ , ϱ и ϱ^3 [5] в зависимости от θ и отношения a/h_p . Порядок расчета кривых равных значений освещенности следующий: 1) задаваясь значением a , определяют a/h_p ; 2) по таблице находят ξ , ϱ , ϱ^3 для данного отношения a/h_p и заданного θ ,

3) задаваясь значением E_r и E_b , по уравнению (3.18) определяют относительную освещенность ϵ ; 4) по значениям ϵ и ξ , пользуясь графиком относительной освещенности, находят η ; 5) по найденному значению η и известным ϱ и h_p находят вторую координату точки кривой равной освещенности.

Найденные координаты a и b определяют положение пары точек кривой для выбранной освещенности E , симметричных относительно следа оптической оси прожектора. Проводя последовательно аналогичные расчеты для различных значений a/h_p , находят положение точек, соединяя которые между собой получают кривую заданной освещенности E_r .

§ 3.4. Расчет прямой составляющей освещенности от светящихся линий

Расчет освещенности начинают с наиболее часто встречающихся в практике случаев, когда светящаяся линия параллельна освещаемой поверхности (рис. 3.18). Для простоты расчета положение

расчетной точки выбираем так, чтобы ее проекция на плоскость расположения светящейся линии совпала с проекцией конца светящейся линии на расчетную плоскость. Выделим на светящейся линии бесконечно малый элемент $d\mathcal{L}$, положение которого относительно точки расчета определяется высотой расположения над расчетной плоскостью h_p и углами γ и α_i .

Освещенность в точке А от элемента светящейся линии $d\mathcal{L}$, к которому применим закон квадратов расстояний, равна

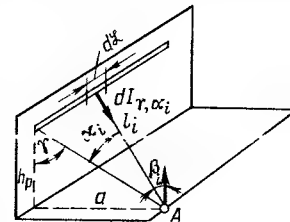


Рис. 3.18. К расчету освещенности от линейного светящегося элемента

$$dE_A = dI_{\gamma\alpha_i} \cos \beta_i / l_i^2, \quad (3.19)$$

где $dI_{\gamma\alpha_i}$ — сила света элемента светящейся линии по направлению к точке А; β_i — угол между направлением силы света в расчетную точку и нормалью к освещаемой поверхности; l_i — расстояние от элемента светящейся линии $d\mathcal{L}_i$ до расчетной точки.

Обозначая через I_γ — силу света с единицы длины светящейся линии — 1 м, а также принимая, что в плоскости оси светящейся линии (продольная плоскость) распределение силы света подчиняется закону косинуса, что справедливо для большинства люминесцентных светильников, будем иметь

$$dI_{\gamma\alpha_i} = I_\gamma d\mathcal{L} \cos \alpha_i. \quad (3.20)$$

Согласно рис. (3.18) можно получить:

$$\left. \begin{aligned} \cos \beta_i &= h_p / l_i, \\ l_i &= h_p / (\cos \gamma \cos \alpha_i), \\ d\mathcal{L} \cos \alpha_i &= l_i d\alpha_i. \end{aligned} \right\} \quad (3.21)$$

Подставляя (3.20) и (3.21) в (3.19), получаем

$$dE_A = \frac{I_\gamma}{h_p} \cos^2 \gamma \cos^2 \alpha_i d\alpha_i.$$

Освещенность от всей светящейся линии определяется интегрированием этого выражения по длине светящейся линии L :

$$E_A = \int_L dE_A = \frac{I_\gamma}{h_p} \cos^2 \gamma \int_0^\alpha \cos^2 \alpha_i d\alpha_i.$$

Интегрируя, находим

$$E_A = \frac{I_\gamma}{2h_p} \cos^2 \gamma \left(\alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right), \quad (3.22)$$

где I_γ — сила света с единицы длины светящейся линии в плоскости, перпендикулярной оси линии ($\gamma = \arctg \frac{a}{h_p}$); α — угол, под

которым видна светящая линия из точки расчета; h_p — высота расположения светящей линии над освещаемой поверхностью.

Из уравнения (3.22) можно заключить, что освещенность точки, расположенной в плоскости, параллельной светящей линии, зависит от силы света с единицы длины этой линии I_γ , высоты расположения светящей линии относительно точки расчета h_p , угла γ и угла α , под которым видна светящая линия из точки расчета. При расположении точки расчета непосредственно под светящей линией большой протяженности ($\alpha = \pi/2$, $\gamma = 0$) формула примет вид

$$E_A = \pi I_\gamma / (4 h_p). \quad (3.23)$$

Согласно формуле (3.23) освещенность расчетной точки, находящейся непосредственно под светящей линией бесконечной длины, уменьшается обратно пропорционально расстоянию светящей линии от точки расчета.

Рассмотренный расчет справедлив, когда расчетная точка находится напротив конца светящей линии. Если расчетная точка не совпадает с проекцией конца светящей линии, то последняя разделяется на две части или дополняется условным отрезком с последующим сложением или вычитанием освещенности. На рис. 3.19 приведены возможные варианты расположения расчетной точки относительно светящей линии. Определим для точки A_1 освещенность от светящей линии BD : $E_{A_1} = E_{BC} + E_{CD}$. Для точки A_2 , расположенной вне проекции светящей линии, $E_{A_2} = E_{BE} - E_{DE}$, где E_{BC} , E_{CD} , E_{BE} , E_{DE} — освещенность от участков светящихся линий.

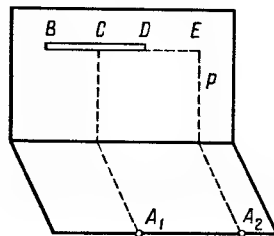


Рис. 3.19. Возможные случаи расположения расчетной точки относительно линейного светящего элемента

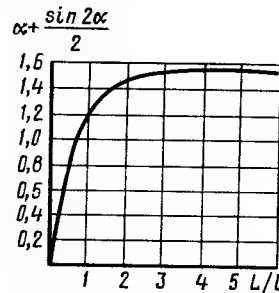


Рис. 3.20. График функции $\alpha + \sin 2\alpha/2$ для расчета освещенности от светящей линии

Для упрощения расчетов по (3.22) функцию $f(\alpha) = \alpha + \sin 2\alpha/2$, можно изобразить графически (рис. 3.20) в зависимости от L/l , где L — длина светящей линии; l — расстояние от светящей линии до расчетной точки. Кривая на рис. 3.20 справедлива при

косинусном светораспределении светильника, когда $I_\gamma = I_0 \cos \alpha$, при другом светораспределении кривые будут несколько смещены относительно изображенной кривой.

Пример 3.5. Люминесцентная лампа ЛБ мощностью 80 Вт напряжением 220 В, имеющая световой поток 5220 лм, расположена на высоте $h_p = 3,5$ м параллельно расчетной плоскости. Определить освещенность в точке А расчетной плоскости, отстоящей на 2 м от проекции конца линии на расчетную плоскость.

Определяем силу света с единицы длины лампы ($L = 1,5$ м) в плоскости, перпендикулярной оси лампы:

$$I_\gamma = \Phi_\pi / \pi^2 L = \frac{5220}{\pi^2 1,5} = 353 \text{ кд.}$$

Находим α , $\sin 2\alpha$ и $\cos \gamma$:

$$\alpha = \arctg \frac{L}{l} = \arctg \frac{1,5}{\sqrt{16,3}};$$

$$\alpha = 20^\circ; \sin 2\alpha = 0,65;$$

$$\cos \gamma = h_p / l = 3,5 / \sqrt{16,3} = 0,87.$$

Согласно уравнению (3.22) находим освещенность в расчетной точке:

$$E_A = [I_\gamma / (2 h_p)] (\alpha + \sin 2\alpha/2) \cos^2 \gamma;$$

$$E_A = [353 / (2 \cdot 3,5)] (0,36 + 0,65/2) \cdot 0,76 \approx 26,3 \text{ лк.}$$

Светильники с люминесцентными лампами, как правило, располагаются параллельными рядами вдоль наружной стены со светопроемами. Каждый ряд светильников представляет собой непрерывную (светильники вплотную примыкают один к другому) или прерывистую линию (светильники располагаются с некоторыми интервалами вдоль ряда) (рис. 3.21). Если в прерывистой линии отношение расстояния между торцами светильников к высоте их установки над расчетной поверхностью λ/h_p не превышает 0,5, распределение освещенности по расчетной плоскости вдоль ряда светильников можно считать равномерным. Снижение освещенности на краях ряда можно компенсировать уплотнением светильников на конце прерывистого ряда или установкой дополнительных светильников на конце ряда при сплошных светящихся линиях. Принятый способ размещения светильников с люминесцентными лампами дает возможность производить расчет освещенности не от каждого светильника в отдельности с последующим суммированием освещенности, а вести расчет одновременно от всех светильников, образующих светящую линию.

При расчете освещенности от светящей линии наиболее широко распространен метод кривых равной относительной освещенности,

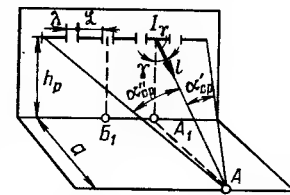


Рис. 3.21. К расчету освещенности от светящей линии с разрывами

предложенный Г. М. Кноррингом. Сущность этого метода заключается в следующем. Уравнение (3.22) при использовании светящей прерывистой линии можно записать в виде

$$E = \frac{I_{\gamma} \mathcal{L}}{2h_p(\mathcal{L} + \lambda)} \cos^2 \gamma \left(\alpha_{cp} + \frac{\sin 2\alpha_{cp}}{2} \right),$$

где

$$\alpha_{cp} = \arctg \frac{n(\mathcal{L} + \lambda)}{l}$$

Из рис. 3.21 имеем

$$\sin 2\alpha_{cp} = 2 \sin \alpha_{cp} \cos \alpha_{cp} = \frac{2 \ln \mathcal{L}_B}{l^2 + n^2 \mathcal{L}_B^2},$$

где $\mathcal{L}_B = \mathcal{L} + \lambda$.

Введем понятие условной силы света линейного светящего элемента с источником света, световой поток которого равен 1000 лм:

$$(I_{\gamma})_{1000} = \frac{I_{\gamma} \mathcal{L}}{\Phi_{\lambda}} \cdot 1000, \quad (3.24)$$

где Φ_{λ} — фактический световой поток лампы в светильнике.

Подставляя выражение α_{cp} и I_{γ} из (3.24), получаем

$$E = \frac{\Phi_{\lambda}}{2h_p \mathcal{L}_B \cdot 1000} (I_{\gamma})_{1000} \cos^2 \gamma \left[\frac{\ln \mathcal{L}_B}{l^2 + n^2 \mathcal{L}_B^2} + \arctg \frac{n \mathcal{L}_B}{l} \right]. \quad (3.25)$$

Полученное выражение можно представить в виде

$$E = \frac{\Phi_{\lambda}}{h_p \mathcal{L}_B 1000} \epsilon,$$

где

$$\epsilon = 0,5 (I_{\gamma})_{1000} \cos^2 \gamma \left(\frac{\ln \mathcal{L}_B}{l^2 + n^2 \mathcal{L}_B^2} + \arctg \frac{n \mathcal{L}_B}{l} \right) \quad (3.26)$$

(ϵ — относительная освещенность от светящей линии).

Заменяя в уравнении углы линейными размерами, а также уменьшая число переменных для получения удобных графиков, придав h_p значение 1 м и заменив координаты α и $\mathcal{L}_B$ относительными координатами $p' = \alpha/h_p$ и $\mathcal{L}' = n \mathcal{L}_B/h_p$, можно построить кривые равных значений относительной освещенности.

Для построения кривых равных значений относительной освещенности строят предварительно кривые относительной освещенности $\epsilon = f(p')$ для $\mathcal{L}' = \text{const}$. Задаваясь определенными значениями ϵ , по относительной освещенности определяют p' , соответствующее каждому значению $\mathcal{L}'$, и наносят их на сетку в прямоугольной системе координат.

Построить кривые относительной освещенности легче при использовании вспомогательного графика, приведенного на рис. 3.22. По оси абсцисс отложена относительная длина светящей линии $\mathcal{L}'$, а по оси ординат — функция $f(p', \mathcal{L}')$, определяемая согласно

уравнению (3.25) размером и положением светящей линии относительно расчетной точки

$$f(p', \mathcal{L}') = 0,5 \left(\frac{\ln \mathcal{L}_B}{l^2 + n^2 \mathcal{L}_B^2} + \arctg \frac{n \mathcal{L}_B}{l} \right) \cos^2 \gamma.$$

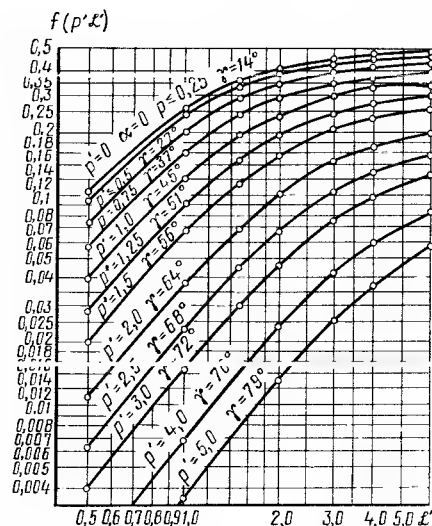


Рис. 3.23. Кривые равных значений относительной освещенности для светильников типа ЛС002

Рис. 3.22. Вспомогательный график для построения кривых равных значений относительной освещенности

Задаваясь $\mathcal{L}'$, из графика находим значения функции $f(p', \mathcal{L}')$ и углы γ , соответствующие разным значениям p' . Относительная освещенность для заданных p' и $\mathcal{L}'$ определяется как произведение функции $f(p', \mathcal{L}')$ на значение силы света светильника $(I_{\gamma})_{1000}$, найденное по продольной кривой силы света для соответствующего угла γ . На рис. 3.23 представлены кривые равных значений относительной освещенности для подвесных светильников рассеянного света типа ЛС002 с люминесцентными лампами. По оси ординат отложены относительные размеры светящей линии $\mathcal{L}' = n \mathcal{L}_B/h_p$, а по оси абсцисс — относительные расстояния от проекции оси линии $p' = \alpha/h_p$.

Пример 3.6. Диффузные светильники ЛС002 с двумя люминесцентными лампами ЛБ-40 мощностью по 40 Вт (световой поток лампы — 3000 лм) расположены в один ряд параллельно расчетной плоскости на высоте $h_p = 4$ м. Полная длина ряда 18 м, длина светильника $\mathcal{L} = 1,2$ м, интервалы между смежными светильниками 1 м. Определить освещенность в точке А (рис. 3.24), приняв коэффициент запаса $k = 1,5$.

Определим относительные параметры

$$p' = \alpha/h_p = 2/4 = 0,5; \quad \mathcal{L}' = (n \mathcal{L}_B)/h_p = 4/4 = 1, \\ L'_2 = 14/4 = 3,5.$$

На рис. 3.23 по относительным параметрам находим: $\epsilon_1 = 60$ лк, $\epsilon_2 = 75$ лк.

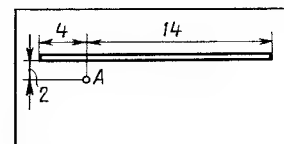


Рис. 3.24. К примеру расчета освещенности от светильников с люминесцентными лампами

Определяем фактическую освещенность

$$E_A = \frac{\Phi_n}{h_p \mathcal{L}_B \cdot 1000 \cdot 1,5} \Sigma \epsilon,$$

$$E_A = \frac{2 \cdot 3000 (60 + 75)}{4 (1,2 + 1) \cdot 1000 \cdot 1,5} \approx 41 \text{ лк.}$$

§ 3.5. Расчет освещенности от светящихся поверхностей равномерной яркости

В практике проектирования осветительных установок часто приходится сталкиваться с расчетом освещенности и светового потока от светящихся поверхностей конечных размеров, для которых нельзя применить закон квадратов расстояния вследствие значительной погрешности, возникающей при его использовании. Расчет освещенности от светящихся поверхностей, располагаемых

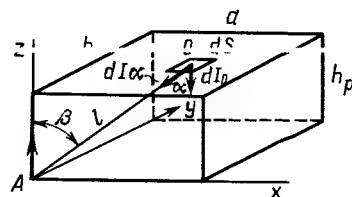


Рис. 3.25. К расчету освещенности от светящей поверхности

обычно в плоскости потолка, сводится к определению освещенности от светящей поверхности, параллельной расчетной плоскости (рис. 3.25). Светящая поверхность размерами $a \times b$ расположена на высоте h_p над расчетной плоскостью. Выделим на поверхности бесконечно малый светящийся элемент dS в точке O и определим освещенность, создаваемую этим элементом в точке A расчетной плоскости.

Согласно уравнению (3.1) освещенность, создаваемую в точке A , можно записать в виде

$$dE = dI_a \cos \beta / l^2. \quad (3.27)$$

При светораспределении светящего элемента, характеризуемого уравнением

$$I_a = I_0 \cos^n \alpha, \quad (3.28)$$

где n — показатель степени, определяющий форму кривой распределения силы света элемента светящей поверхности, выражение для элементарной освещенности может быть записано в виде

$$dE = dI_0 \cos^n \alpha \cos \beta / l^2. \quad (3.29)$$

Из рис. 3.25 можно определить

$$\cos \alpha = \frac{h_p}{\sqrt{x^2 + y^2 + h_p^2}}; \quad l = \sqrt{x^2 + y^2 + h_p^2}.$$

Подставляя эти величины в уравнение (3.29), получаем

$$dE = dI_0 h_p^{n+1} / (x^2 + y^2 + h_p^2)^{n+3}. \quad (3.30)$$

Силу света dI_0 элемента светящей поверхности ds можно определить через яркость по нормали к светящей поверхности L_0 :

$$dI_0 = L_0 ds.$$

Подставляя dI_0 в выражение (3.30) и интегрируя по всей площади светящей поверхности, находим

$$E = L_0 h_p^{n+1} \int \frac{ds}{(\sqrt{x^2 + y^2 + h_p^2})^{n+3}}, \quad (3.31)$$

где x и y — координаты элемента ds светящей поверхности. Учитывая, что площадь светящей поверхности $S = ab$, выражение для освещенности можно записать в виде

$$E = L_0 f(a/h_p, b/h_p). \quad (3.32)$$

При равномерной одинаковой во всех направлениях L_0 и выражении телесного угла в стерadianах значение светимости M определяют по формуле $M = \pi I_0$ ($I_0 = M/\pi$). Следовательно, формула (3.32), если π внести под знак функции, а $f(a/h_p; b/h_p)$ обозначить через q , примет вид

$$E = Mq. \quad (3.33)$$

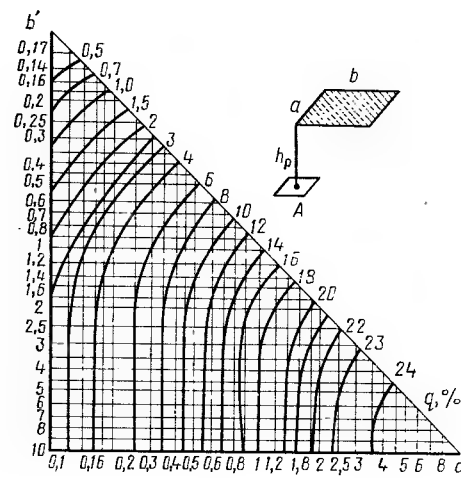


Рис. 3.26. График для расчета освещенности от горизонтального диффузного прямоугольника

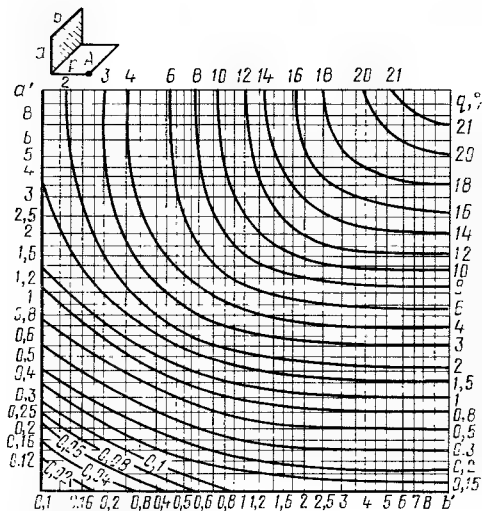


Рис. 3.27. График для расчета освещенности от вертикального диффузного прямоугольника

На основании решения уравнения (3.33) Е. С. Ратнером построены номограммы для определения освещенности на плоскости, параллельной и перпендикулярной светящей поверхности (рис. 3.26 и 3.27). По вертикальной и горизонтальной осям номограммы от-

ложены относительные размеры светящего прямоугольника $a' = a/h_p$ и $b' = b/h_p$. В этих осях построены кривые постоянных значений коэффициента освещенности в процентах.

По рис. 3.26 можно определить коэффициент освещенности от светящего прямоугольника, параллельного расчетной плоскости, а с помощью рис. 3.27 — коэффициент освещенности от светящих прямоугольников, перпендикулярных расчетной плоскости.

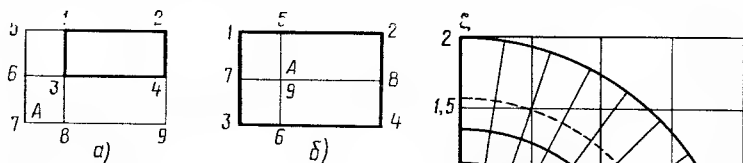
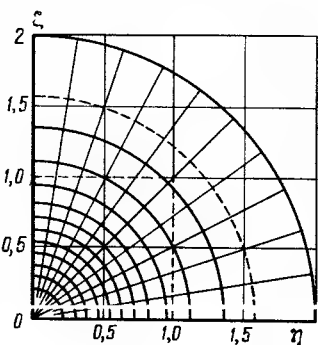


Рис. 3.28. Определение освещенности в точке A от прямоугольника 1234

Рис. 3.29. Измерительная номограмма для расчета освещенности от светящих поверхностей при $n = 3$



Расчет освещенности с помощью приведенных номограмм допустим лишь в частном случае, когда проекция вершины светящего прямоугольника совпадает с расчетной точкой. Однако к этому частному случаю можно свести любой случай, встречающийся на практике. Любой светящий прямоугольник можно разбить на отдельные прямоугольники, вершина, которых совпадает с точкой расчета A (рис. 3.28), в этом случае q при светящем прямоугольнике, расположенном, как показано на рис. 3.28, а, будет иметь значение

$$q_{1234} = q_{2579} - q_{1578} - q_{4679} + q_{3678},$$

а для рис. 3.28, б

$$q_{1234} = q_{1579} + q_{5298} + q_{7936} + q_{9864}.$$

Для определения q могут применяться также измерительные номограммы. На рис. 3.29 приводится одна из таких номограмм, рассчитанная для случая $n = 3$ [формула (3.28)], которая предназначена для определения q при расчете освещенности от светящих потолков и панелей, перекрытых экранирующими решетками с защитным углом около 45° . Рис. 3.29 представляет собой один из четырех квадратов номограммы, которая в полном объеме содержит 500 элементов (четыреугольных, у вершины — треугольных). Элементы, ограниченные с одной стороны штриховой дугой, считаются за 0,5. На горизонтальной освещаемой плоскости произвольно выбирают направление осей координат x, y с началом координат в расчетной точке. Контуры излучателя наносят на сетку номограммы по координатам их вершин $\xi = x/h$ и $\eta = y/h$.

Если в пределах этих контуров вмещается z элементов графика, то $q = z/500$. Измерительная номограмма пригодна для определения освещенности от поверхностей любой формы.

Пример 3.7. Прямоугольное помещение площадью $20 \times 40 \text{ м}^2$ и высотой 4 м освещается светящей панелью, расположенной в плоскости потолка помещения (рис. 3.30). Размеры панели $8 \times 16 \text{ м}^2$. Светимость панели 200 лк/м^2 . Определить освещенность в центре помещения на уровне пола, принимая коэффициент запаса $k = 1,5$.

Разбиваем светящий прямоугольник на четыре части так, чтобы проекция одной из вершин каждой из них совпала с расчетной точкой. Стороны полученных прямоугольников находим из рис. 3.30: $a = 4 \text{ м}$, $b = 8 \text{ м}$.

Соответственно относительные размеры сторон: $a' = a/h_p = 4/4 = 1$; $b' = b/h_p = 8/4 = 2$.

По номограмме рис. 3.26 находим коэффициент освещенности для одного такого прямоугольника: $q = 16,5\%$.

Так как размеры всех четырех прямоугольников одинаковы, освещенность в расчетной точке A определяют так:

$$E = 4q \frac{M}{k} = 4 \cdot 0,165 \frac{200}{1,5} \approx 88 \text{ лк}.$$

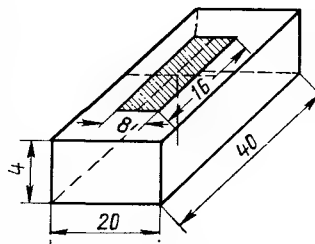


Рис. 3.30. К примеру расчета освещенности от светящей панели

§ 3.6. Расчет освещенности с учетом многократных отражений

В практике осветительной техники освещаемый объем помещения ограничивается ограждающими поверхностями, отражающими значительную часть светового потока, попадающего на них от светильников и источников света. В установках внутреннего освещения отражающими поверхностями являющиеся пол, потолок, стены и оборудование, установленное в помещении. В тех случаях, когда поверхности, ограничивающие пространство, имеют высокие коэффициенты отражения, отраженная составляющая освещенности может иметь большое значение, и ее учет необходим. Отраженные потоки в отдельных случаях могут быть сравнимы с прямыми, падающими непосредственно от осветительных приборов, и недооценка их может привести к значительным погрешностям в расчетах.

Рассмотренные методы расчета дают возможность рассчитать только прямую составляющую освещенности.

Расчет осветительной установки с одновременным учетом прямой и отраженной составляющих наиболее прост, если распределение светового потока по расчетной плоскости близко к равномерному. Это условие обеспечивается в тех случаях, когда фактическое размещение светильников оптимально или близко к оптимальному. В этом случае можно говорить о средней освещенности расчетной плоскости и ввести понятие коэффициента использования

осветительной установки, под которым принято понимать отношение светового потока, падающего на расчетную плоскость, к световому потоку источников света:

$$U_{oy} = \Phi_p / (n\Phi_{\lambda}), \quad (3.34)$$

где Φ_p — световой поток, падающий на расчетную плоскость; Φ_{λ} — световой поток источника света; n — число источников света

Коэффициент использования осветительной установки, характеризующий эффективность использования светового потока источников света, определяется светораспределением и размещением светильников, а также соотношением размеров освещаемого помещения и отражающими свойствами его поверхностей.

На рис. 3.31 приведены кривые зависимости коэффициента использования осветительной установки для светильника рассеянного света от индекса помещений i , определяемого соотношением размеров освещаемого помещения:

$$i = AB / (h_p (A + B)), \quad (3.35)$$

где A и B — длина и ширина помещения; h_p — расчетная высота.

Для помещений практически неограниченной длины можно считать индекс помещения $i = B/h$.

Значение i можно определить по таблице приложения 3. В каждой из трех верхних строк в зависимости от относительных размеров помещения ($A:B$) определяется значение h_p , ближайшее к заданному. По столбцу, соответствующему h_p , находят два значения площади, между которыми заключено заданное значение, и в крайнем правом столбце «индексы» находится значение индекса помещения i .

Согласно рис. 3.31 при увеличении индекса помещения наблюдается рост коэффициента использования осветительной установки, что объясняется увеличением светового потока, непосредственно падающего от светильников на расчетную плоскость с уменьшением высоты подвеса при неизменной площади помещения.

Кривые графиков соответствуют различным сочетаниям коэффициен-

тов отражения: потолка — ρ_n , стен — ρ_c , расчетной плоскости — ρ_p и наглядно иллюстрируют значительное влияние коэффициентов отражения ограждающих поверхностей на коэффициент использования осветительной установки. С увеличением коэффициентов отражения, ограничивающих помещение, растет коэффициент использования осветительной установки, так

как при этом уменьшаются потери светового потока при многократных отражениях от этих поверхностей.

При известном коэффициенте использования осветительной установки среднюю освещенность можно определить из следующего уравнения:

$$E_{cp} = \Phi_p / (S_p k) = n\Phi_{\lambda} U_{oy} / (S_p k), \quad (3.36)$$

где Φ_p — световой поток, упавший на расчетную поверхность; S_p — площадь расчетной поверхности; Φ_{λ} — световой поток лампы; k — коэффициент запаса; n — число ламп; U_{oy} — коэффициент использования осветительной установки (см. приложение 4).

Уравнение (3.36) широко используется и для решения обратной задачи — определения светового потока источников света, необходимого для создания заданной средней освещенности. Решая уравнение (3.36) относительно светового потока лампы, получим

$$\Phi_{\lambda} = E_{cp} S_p k / (n U_{oy}), \quad (3.37)$$

В связи с тем что нормирование искусственного освещения производится по минимальному значению освещенности, а не по среднему, а также учитывая, что в практике неизбежно наличие неравномерности распределения светового потока по расчетной плоскости, в уравнения (3.36) и (3.37) следует вводить поправочный коэффициент Z , больший единицы и представляющий собой отношение средней освещенности к минимальной: $Z = E_{cp} / E_{min}$. Числовое значение этого коэффициента является функцией многих переменных и зависит от отношения расстояния между светильниками к расчетной высоте, с увеличением которого сверх рекомендуемых значений z резко возрастает.

При z/h_p (z — расстояние между светильниками; h_p — высота расположения светильника над расчетной поверхностью), не превышающих рекомендуемых значений, можно принимать $z = 1,15$ для ламп накаливания и ДРЛ и $z = 1,1$ для люминесцентных ламп при расположении светильников в виде светящихся линий. Для отраженного освещения можно считать $z = 1,0$; при расчете на среднюю освещенность z не учитывается.

С учетом коэффициента z световой поток источников света, необходимый для создания нормированной освещенности, определяется по формуле

$$\Phi_{\lambda} = E_n S_p k z / (U_{oy} n), \quad (3.38)$$

где E_n — нормированное значение освещенности.

По рассчитанному значению светового потока и напряжению электрической сети выбирают ближайшую стандартную лампу, поток которой не должен отличаться от расчетного значения (Φ_{λ}) больше чем на ($-10 \dots +20\%$) (см. приложение 2). При невозможности выбора с таким приближением корректируется число светильников n .

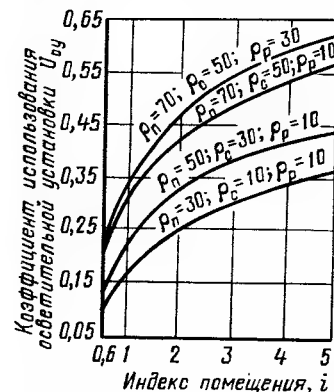


Рис. 3.31. График зависимости коэффициента использования осветительной установки от индекса помещения

При расчете люминесцентного освещения первоначально вместо числа светильников принимается число рядов светильников N , которое подставляют в формулу (3.38) вместо n . Тогда число светильников в ряду определится как $n = \Phi / \Phi_1$, где Φ_1 — поток лампы в каждом светильнике. В процессе проведения расчетов возможно получение различных ситуаций при сопоставлении суммарной длины n светильников с длиной помещения: суммарная длина светильников превышает длину помещения: необходимо использовать более мощные лампы (у которых выше световой поток на единицу длины) или увеличить число рядов, или компоновать ряд из сдвоенных, строенных и т. п. светильников; суммарная длина светильников равна длине помещения: устройство непрерывного ряда светильников; суммарная длина светильников меньше длины помещения: принимается ряд светильников с равномерно распределенным между светильниками разрывами λ . На основе технико-экономических сопоставлений между несколькими вариантами выбирают лучший. Рекомендуется, чтобы разрыв между светильниками λ не превышал 0,5 расчетной высоты (кроме многоламповых светильников в помещениях общественных и административных зданий).

При расчете осветительных установок со стандартными светильниками коэффициент использования осветительной установки определяют из таблиц приложения 4. Такие таблицы позволяют найти коэффициент использования для заданного типа светильника, коэффициентов отражения стен, потолка, пола и индекса помещения.

Пример 3.8. Освещение конторского помещения площадью $S = 18 \times 26 \text{ м}^2$ и высотой $h_p = 3,5 \text{ м}$ запроектировано двухламповыми люминесцентными светильниками типа ЛС002. Светильники размещены в виде трех сплошных светящихся линий, расположенных на расстоянии 6 м одна от другой по 21 шт. в каждой линии. Коэффициенты отражения потолка, стен и расчетной поверхности соответственно равны: $\rho_n = 0,7$; $\rho_c = 0,5$; $\rho_p = 0,3$. Рассчитать мощность источников света и суммарную установленную мощность, если нормированная освещенность $E_n = 300 \text{ лк}$, а коэффициент запаса $k = 1,5$.

Найдем индекс помещения

$$i = \frac{A \cdot B}{h_p(A + B)} = \frac{18 \cdot 26}{3,5(18 + 26)} \approx 3.$$

Пользуясь таблицей приложения 4, определяем коэффициент использования осветительной установки со светильниками ЛС002 для найденного индекса помещения и заданных коэффициентов отражения: $U_{oy} = 0,53$.

При заданном размещении и выбранном типе светильников коэффициент $z = 1,1$. При этом световой поток каждого источника света, необходимый для обеспечения уровня нормируемой освещенности, определяется по формуле

$$\Phi_n = \frac{E_n S_p k z}{U_{oy} n} = \frac{300 \cdot 18 \cdot 26 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{0,53 \cdot 126} \approx 3202 \text{ лм}.$$

Ближайшая по световому потоку (см. приложение 2, табл. 2) люминесцентная лампа типа ЛБ-40 имеет номинальный световой поток 3000 лм, что несколько меньше требуемого. Определим фактическую освещенность

$$E_f = 300 \frac{3000}{3202} \approx 281 \text{ лк}.$$

Определим общую установленную мощность и удельную мощность осветительной установки

$$P_{\text{общ}} = n P_n = 126 \cdot 40 = 5040 \text{ Вт}; \quad w = \frac{P_{\text{общ}}}{S} = \frac{5040}{18 \cdot 26} = 10,77 \text{ Вт/м}^2.$$

Стремясь к дальнейшему упрощению расчета осветительных установок, Г. М. Кнорринг разработал способ расчета освещения по удельной мощности, получившей широкое применение для расчета общего равномерного освещения помещений без громоздкого затеняющего оборудования. Удельная мощность освещения определяется отношением суммарной мощности ламп к освещаемой площади и является одним из важнейших энергетических показателей осветительной установки. Этот способ основан на методе коэффициента использования и дает несколько приближенное, но очень простое решение задачи.

Преобразуем формулу (3.38), введя в нее дополнительные обозначения: p — мощность одной лампы, Вт; w — удельная мощность, Вт/м²; η — световая отдача, лм/Вт:

$$\Phi = \frac{E_n S_p}{n U_{oy}} = \eta p; \quad w = \frac{P_{\text{общ}}}{S} = \frac{E_n S_p}{\eta U_{oy}}. \quad (3.39)$$

На основании формулы (3.39) можно заключить, что удельная мощность зависит от уровня освещенности, световой отдачи применяемых источников света и других факторов, т. е. от тех показателей, которые влияют и на коэффициент использования.

На всех стадиях проектирования разрешается взамен полного светотехнического расчета определять мощность и число ламп по таблицам удельной мощности в пределах тех данных, для которых составлены таблицы. Для ламп накаливания, например, приводятся таблицы удельной мощности для светильников разных типов в приложении 5. При этом к учитываемым параметрам относятся: тип светильника, освещенность, коэффициент запаса (при его значениях, отличающихся от указанных в таблицах, допускается пропорциональный пересчет значений удельной мощности), коэффициенты отражения поверхностей помещения (для светильников прямого света таблицы рассчитаны для $\rho_n = 50\%$, $\rho_c = 30\%$, $\rho_p = 10\%$, и для них допускается при более светлых поверхностях уменьшать, а при более темных увеличивать значение удельной мощности на 10%), значения расчетной высоты, площадь помещения, коэффициент неравномерности освещенности z , напряжение ламп накаливания. Так, табличные значения удельной мощности для ламп накаливания соответствуют напряжению 220 В, а при напряжении источников света 127 В значения удельной мощности, взятые из таблиц, должны быть умножены на коэффициент 0,86.

Для светильников с люминесцентными лампами кроме указанных сохраненных факторов имеются следующие отличия (см. приложение 5): таблицы приводятся только для освещенности 100 лк, так как в данном случае имеется прямая пропорциональность между освещенностью и удельной мощностью. Кроме того, в этих таблицах указаны тип и мощность ламп с учетом их светотдачи.

Таблицы удельной мощности для светильников с лампами ДРЛ составлены также для освещенности 100 лк (с пропорциональным пересчетом при других освещенностях), так как световая отдача всех ламп этого типа одинакова.

При составлении таблиц удельной мощности не учитывается форма помещений и индекс помещения i определяют по формуле

$$i = 0,48 \sqrt{S} / h_p, \quad (3.40)$$

имеющей достаточную точность при $\dot{A} : \dot{B} \leq 2,5$, где A — длина помещения; B — его ширина; S — площадь; h_p — расчетная высота.

При пользовании таблицами для удлиненных помещений следует определять значение удельной мощности для условной площади $2B^2$ и распространить это значение на всю площадь помещения.

Порядок пользования таблицами при лампах накаливания и лампах ДРЛ следующий: выбирают все параметры осветительной установки, включая число светильников; по соответствующей таблице выбирают удельную мощность w ; определяют единичную мощность лампы: $p = wS/n$.

При люминесцентных лампах выбирают все решения по осветительным установкам помещения, включая число рядов светильников N и тип лампы; по соответствующей таблице находят значения удельной мощности w для ламп данной мощности; для тех же ламп находят необходимое число светильников в ряду делением wS на мощность одного светильника, и осуществляется компоновка ряда.

Пример 3. 9. В помещении размером $12 \times 18 \text{ м}^2$ норма освещенности 50 лк. Светильники УПМ-15 установлены на высоте 3,5 м над расчетной плоскостью. Коэффициент запаса 1,5. Напряжение сети 127 В. Определить мощность осветительной установки.

Пользуясь табл. 1 приложения 5, определяем значение удельной мощности для напряжения 220 В, площади 216 м^2 при высоте над расчетной поверхностью 3,5 м; $p_{\text{табл}} = 9,5 \text{ Вт/м}^2$. Введем поправки на напряжение: $p_1 = 9,5 \cdot 0,86 = 8,17 \text{ Вт/м}^2$ на заданный коэффициент запаса: $p_2 = 8,17 \cdot 1,5/1,3 = 9,43 \text{ Вт/м}^2$. Определим мощность осветительной установки $P = p_2 S = 9,43 \cdot 12 \cdot 18 \approx 2037 \text{ Вт}$. При мощности лампы 200 Вт число светильников: $n = 2037/200 \approx 10$ шт.

Графики Гурова и Прохорова, предназначенные для определения числа светильников с люминесцентными лампами как функции площади помещения при условии соблюдения всех других параметров установки, обеспечивают более точные результаты, чем таблицы удельной мощности, и очень просты в использовании. На рис. 3.32 даны графики для наиболее распространенных светильников.

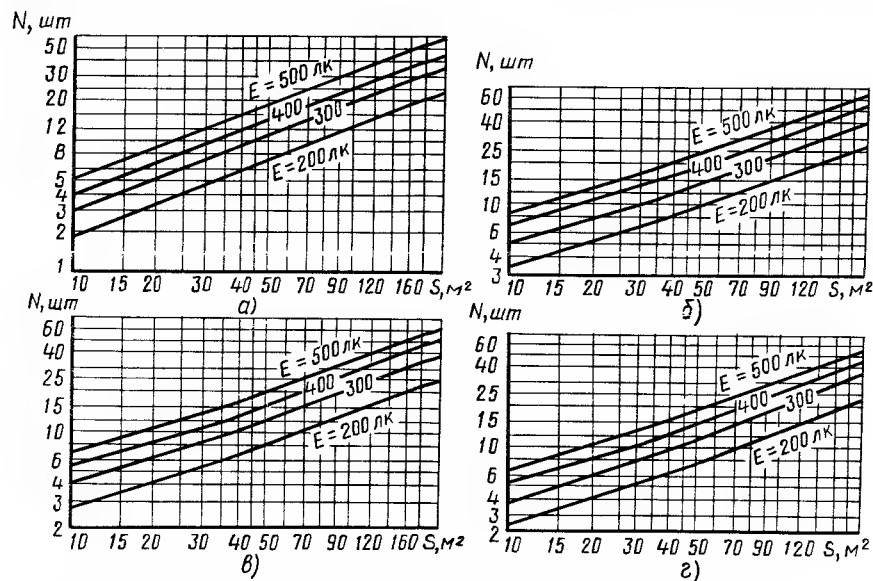
§ 3.7. Выбор метода расчета

Все многообразие применяемых методов расчета освещения сводится к двум принципиально различным методам: точечному и методу светового потока, называемому методом коэффициента использования. Упрощенные приемы расчета (такие, как таблицы удельной мощности, графики Гурова и Прохорова) основаны на одном из двух указанных методов и самостоятельными не являются.

Усложнив точечный метод, можно найти среднюю освещенность поверхности, но в основном он предназначен для определения освещенности в определенных точках и, следовательно, наиболее пригоден для обеспечения минимальной освещенности, регламентируемой нормами для большей части освещаемых объектов. Этот же метод позволяет в принципе определить не только освещенность точки от прямого света излучателей, но и дополнительную освещенность, создаваемую отраженным светом, однако она учитывается грубо приближенно.

Метод коэффициента использования предназначен для определения средней освещенности, и при расчете минимальная освещенность оценивается лишь приближенно и без выявления точек, в которых она имеет место. Вообще средняя освещенность может быть рассчитана на как угодно расположенной поверхности, но наиболее употребительные формы этого метода предназначены для расчета только горизонтальной освещенности.

В теории точечного метода меньше допущений, чем в теории метода коэффициента использования, но сама сила света в определенных направлениях часто имеет большие случайные отклонения, поэтому нельзя с уверенностью признать точечный метод более точным, чем метод коэффициента использования. По простоте расчета методы являются равноценными.



При проектировании точечный метод расчета может быть рекомендован, когда: 1) отсутствует необходимость в учете отраженной составляющей освещенности; 2) не предъявляются требования к равномерности распределения освещенности по помещению; 3) определяется освещенность негоризонтальных поверхностей; 4) необходимо учесть возможные затенения.

Обратные условия определяют область применения метода коэффициента использования.

Применение метода коэффициента использования целесообразно во всех случаях, когда расчет ведется на среднюю освещенность: для расчета общего равномерного освещения вспомогательно-бытовых и административно-конторских помещений, для расчета общего равномерного освещения производственных помещений светильниками, не относящимися к классу прямого света.

Применение точечного метода целесообразно для расчета установок с повышенной неравномерностью освещения (локализованное освещение светильниками прямого света, наружное освещение, рассчитываемое на минимальную освещенность, аварийное освещение и т. п.), а также для расчета освещенности негоризонтальных поверхностей, при использовании светильников прямого света. Общее равномерное освещение производственных помещений, выполненное светильниками прямого света, может быть рассчитано любым методом. Все же в более ответственных случаях предпочтение отдается точечному методу, так как он позволяет проанализировать распределение освещенности по площади помещения. При использовании светильников концентрированного светораспределения необходимость использования точечного метода не вызывает сомнения. В этом случае даже незначительное изменение расположения светильников может привести к резкому уменьшению освещенности на отдельных участках, выявить которые можно только расчетом по точечному методу.

Есть случаи, в которых ни один из методов расчета не дает точных результатов. Например, расчет локализованного освещения или освещения негоризонтальных поверхностей в условиях помещений, освещаемых светильниками, не относящимися к классу прямого света. В этих случаях прямую составляющую освещенности определяют точечным методом, а дополнительную отраженную составляющую — методом коэффициента использования.

Необходимо обратить внимание на то, что упрощенные формы метода коэффициента использования (таблицы удельной мощности, графики Гурова и Прохорова) широко применяются в практике проектирования. Эти формы используют в тех же случаях, что и сам метод коэффициента использования, но упрощение достигается за счет некоторой утраты точности, поэтому таблицы и графики следует применять при тех параметрах рассчитываемой установки, которые в них указаны.

§ 3. 8. Пульсация излучения

Рассмотрим методы расчета качественных показателей осветительных установок. Глубину пульсации светового потока источников света определяют по формуле

$$k_{\text{пи}} = (\Phi_{\text{max}} - \Phi_{\text{min}}) / (2\Phi_{\text{ср}}), \quad (3.41)$$

где $k_{\text{пи}}$ — коэффициент пульсации светового потока источников света, %; Φ_{max} , Φ_{min} — максимальное и минимальное значения светового потока за период его колебания, лм. $\Phi_{\text{ср}}$ — среднее значение светового потока за этот же период.

Значения $k_{\text{пи}}$ для наиболее распространенных источников света при различных способах их включения приведены в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Типы ламп	Значения $k_{\text{пи}}$, %, для			
	одной лампы	двух ламп в схеме отстающего или опережающего тока	двух ламп разных фаз	трех ламп разных фаз
ЛБ и ЛТБ	25	10,5	10	2,2
ЛХБ	35	15	15	3,1
ЛДЦ	40	17	17	3,5
ЛД	55	23	23	5
ДРЛ	65	—	31	5
ДКсТ	130	—	65	5

Как видно из табл. 3.2, ограничение пульсации светового потока источников света достигается путем применения различных схем включения источников света.

Практически этими же средствами обеспечиваются требуемые нормы ограничения коэффициента пульсации освещенности на рабочих местах, определяемого по формуле

$$k_{\text{п}} = (E_{\text{max}} - E_{\text{min}}) / E_{\text{ср}}, \quad (3.42)$$

где $k_{\text{п}}$ — коэффициент пульсации освещенности, %; E_{max} и E_{min} — максимальное и минимальное значения освещенности за период ее колебания, лк; $E_{\text{ср}}$ — среднее значение освещенности за тот же период, лк.

Практически ограничение $k_{\text{п}}$ достигается: в двухламповых люминесцентных светильниках применением компенсированных, пускорегулирующих аппаратов, когда питание одной лампы в светильнике осуществляется отстающим током, а второй опережающим; поочередным присоединением соседних светильников в ряду или соседних рядов к разным фазам сети; установкой в одной точке двух или трех светильников (ДРЛ, МГЛ, НЛВД и т. д.), присое-

диненных к разным фазам сети; питанием различных ламп в много-
ламповых люминесцентных светильниках от разных фаз сети.

Г. М. Кноррингом указаны условия, при которых те или иные
значения k_n соблюдаются и специальной проверки не требуется
(табл. 3.3 и 3.4).

Таблица 3.3*

Расположение светильников и схема включения ламп	Нормированные значения коэффициента пульсации, %			
	10	15	20	30
Лампы типа ДРЛ				
Совместная установка ламп на разные фазы:				
двух	—	—	—	+
трех	+	+	+	+
Люминесцентные лампы				
При любом расположении светильников: число ламп в светильнике, кратное трем, с равномерным распреде- лением между фазами сети	+	+	+	+
Число ламп в светильнике, кратное двум, с включением половины ламп по схеме опережающего и половины — по схеме отстающего тока:				
лампы ЛБ и ЛТБ	+	+	+	+
» ЛХБ	—	+	+	+
» ЛДЦ	—	—	+	+
» ЛД	—	—	—	+
Любое число ламп в светильнике и любая схема включения:				
лампы ЛБ и ЛТБ	—	—	—	+
прочие лампы	—	—	—	—
При сплошных линиях светильников и высоте подвеса $h_p \geq 2,0$ м				
трехфазные линии с поочередным включением светиль- ников на разные фазы:				
любые лампы и схемы	+	+	+	+
то же, но двухфазные линии:				
лампы, ЛБ и ЛТБ	+	+	+	+
» ЛХБ	—	+	+	+
» ЛДЦ и ЛД	—	—	+	+
Двухфазные линии с поочередным включением све- тильников на разные фазы сети; число ламп в светиль- нике, кратное двум, с включением половины ламп по схеме опережающего и половины — по схеме отстающего тока;				
лампы всех типов	+	+	+	+

* Условия, при которых соблюдаются нормированные значения коэффициента пульсации (отмечены
знаком «+»)

Для наиболее распространенных светильников с лампами типа
ДРЛ в табл. 3.4 указаны для различных случаев расположения
и расфазирования предельные отношения расстояния между све-
тильниками $\mathcal{L}$ к расчетной высоте h_p , при которых соблюдаются

Таблица 3.4

Число рядов	Расположение и расфазирование светильников	b/h_p	Наибольшие значения $\mathcal{L}/h$, при которых обеспечивается $k_0\%$, не более			
			10	15	20	30
Светильники с типовой кривой Д (СД2, УПД и т. д.)						
1	Одиночные светильники А-В-С-А-В-С	—	0,45	0,6	0,7	0,9
	Сдвоенные светильники АВ-СА-ВС-АВ-СА-ВС	—	0,8	1,1	1,3	1,8
2 и более	Одиночные светильники	0,3	0,7/0,9	1,0/1,1	1,2/1,4	1,8
	Первый ряд	0,6	0,6	0,9	1,1	1,6
	А-В-С-А-В-С	0,9	0,35/0,5	0,7	0,95	1,2/1,3
	Второй ряд	1,2	0,3/0,5	0,65	0,8	1,1
	В-С-А-В-С-А	1,8	0,2/0,45	0,6	0,75	1,0
	и т. д.					
	Сдвоенные светильники	0,3	0,6/0,4	1,2/1,4	1,3	1,6
	Первый ряд	0,6	0,8/0,4	1,2	1,8	1,8
	АВ-СА-ВС-АВ-СА-ВС	0,9	0,8/0,4	1,15	1,7/1,8	1,8
	Второй ряд	1,2	0,8/0,4	1,1	1,6/1,7	1,8
	ВС-АВ-СА-ВС-АВ-СА	1,8	0,8/0,4	1,1	1,4/1,6	1,8
Светильники с типовой кривой Г (ГсР, СЗ4 и т. д.)						
1	Одиночные светильники А-В-С-А-В-С	—	0,45	0,5	0,6	0,7
	Сдвоенные светильники АВ-СА-ВС-АВ-СА-ВС	—	0,55	0,75	0,95	1,2
2 и более	Одиночные светильники	0,3	0,55/0,75	0,7/0,9	0,9/1,0	1,2
	Первый ряд	0,45	0,5/0,65	0,65/0,75	0,8/0,9	1,2
	А-В-С-А-В-С	0,6	0,5	0,65	0,75	1,1
	Второй ряд	0,75	0,45	0,6	0,7	0,85
	В-С-А-В-С-А	0,9	0,4	0,5	0,65	0,8
	и т. д.	1,2	0,4	0,45	0,6	0,7
	Сдвоенные светильники	0,3	0,6/0,5	0,9/0,7	1,2/1,0	1,2
	Первый ряд	0,45	0,6/0,5	0,85/0,7	1,2/1,0	1,2
	АВ-СА-ВС-АВ-СА-ВС	0,6	0,6/0,5	0,85/0,7	1,2/1,0	1,2
	Второй ряд	0,9	0,6/0,5	0,8/0,7	1,1/1,0	1,2
	ВС-АВ-СА-ВС-АВ-СА	1,2	0,6/0,5	0,7	1,0	1,2
	и т. д.					

нормированные значения k_n . Через «b» в таблицах обозначено
расстояние между рядами, если $\mathcal{L}/h_p$ указано в виде дроби,
числитель относится к полям прямоугольной формы, знаменатель
к шахматному расположению светильников. В случаях, не ука-
занных в табл. 3.3 и 3.4, производится индивидуальная про-
верка k_n под одним светильником крайнего ряда по табл. Ю. И. Сви-
ридова.

В указанной точке определяется отдельно освещенность, соз-
даваемая светильниками каждой фазы. Наибольшее значение при-
нимается за 100%, остальные выражаются в долях этой вели-
чины. Для ламп типа ДРЛ k_n определяется непосредственно по

табл. 3.4, для люминесцентных ламп табличное значение умножается на $k_{\text{ли}}$ для данного типа ламп.

В табл. 3.5 приведены значения коэффициента пульсации в установках с люминесцентными лампами при условном значении $k_{\text{ли}} = 100\%$ (освещенности указаны в процентах по отношению к фазе, лампы которой создают наибольшую освещенность).

В табл. 3.6 даны значения коэффициента пульсации в установках с лампами ДРЛ при значениях $k_{\text{ли}} = 65\%$ (освещенности указаны в процентах по отношению к фазе, лампы которой создают наибольшую освещенность).

Таблица 3.5

Освещенность от ламп третьей фазы	Значение k_n при освещенности от ламп второй фазы									
	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10
0	42,3	45,0	48,0	51,2	54,5	59,9	64,9	71,5	79,3	88,5
10	37,4	39,4	41,8	44,9	47,8	52,3	56,9	62,6	69,0	77,4
20	32,3	34,4	36,8	39,4	41,5	45,2	49,5	54,8	60,8	
30	27,8	30,0	32,3	34,8	36,9	40,2	44,2	48,9		
40	23,4	25,9	27,9	30,2	32,6	35,4	39,2			
50	19,8	22,2	24,2	26,3	28,5	31,4				
60	17,2	19,2	21,2	23,4	25,7					
70	14,8	16,6	18,4	20,9						
80	12,4	14,2	16,3							
90	10,4	12,3								
100	8,9									

Таблица 3.6

Освещенность от ламп третьей фазы	Значение k_n при освещенности от ламп второй фазы									
	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10
0	31,0	31,2	31,4	32,1	33,9	36,7	40,0	44,2	48,8	56,8
10	25,8	25,9	26,3	27,1	28,7	31,2	34,2	38,2	43,3	49,5
20	22,5	21,7	22,0	22,7	24,3	26,5	29,4	32,9	37,6	
30	17,5	17,6	17,9	18,9	20,4	22,6	25,5	28,8		
40	14,0	14,0	14,5	15,8	17,5	19,8	22,3			
50	10,8	10,8	11,5	12,9	14,7	17,0				
60	8,6	8,7	9,3	10,3	12,2					
70	6,6	6,7	7,3	8,4						
80	5,5	5,6	6,1							
90	4,9	4,9								
100	4,7									

Пример 3.10. Помещение освещается двухламповыми светильниками с лампами ЛБ, включенными через пускорегулирующий аппарат (ПРА) типа 2УБН ($k_{\text{ли}} = 25\%$). Определить коэффициент пульсации в расчетной точке, если лампы, включенные в различные фазы, создают соответственно освещенность 300, 120, 60 лк.

Отнеся освещенности к наибольшему значению, в данном случае 300 лк, получим: 100, 40 и 20%. По табл. 3.5 находим коэффициент 49,6%. Коэффициент пульсации освещенности: $k_n = 49,6 \cdot 0,25 \approx 12,4\%$.

§ 3.9. Показатель ослепленности

Показатель ослепленности промышленных осветительных установок P определяется по формуле

$$P = \frac{k}{L_{\text{рп}}} \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{I_{\text{vi}} \cos \theta_i}{l_i^2 \theta_i^2} \right)^{3/2} \right] \quad (3.43)$$

где k — коэффициент, зависящий от яркости и цветности источника света; I_{vi} — сила света светильника i в направлении к наблюдателю, кд; θ_i — угол действия блеского источника i , град; l_i — расстояние блеского источника i от наблюдателя, м; n — число светильников, учитываемых при расчете; $L_{\text{рп}}$ — яркость рабочей поверхности, кд/м².

Показатель ослепленности осветительной установки зависит от: параметров осветительной установки — высоты подвеса светильников над рабочей поверхностью h_p и относительного расстояния $\mathcal{L}/h_p$ ($\mathcal{L}$ — расстояние между светильниками), определяющих θ и l ; параметров светильников: светораспределения, яркости (мощности), защитного угла и цветности излучения источника света; характеристик освещаемого помещения (длины и ширины, т. е. числа светильников, попадающих в поле зрения, коэффициента отражения рабочей поверхности, определяющего $L_{\text{рп}}$).

Методика расчета, разработанная Ц. И. Кроль и Е. И. Мансуровой, предназначена для определения основного параметра при оценке слепящего действия осветительных установок — показателя ослепленности.

На основе предложенной авторами таблицы классификации светильников по светотехническим параметрам (табл. 3.7), влияющим на создаваемую ими ослепленность, определяют номер группы светильников.

На основании номера группы светильников, высоты подвеса светильников над рабочей поверхностью (h_p) для разных рядов работ по главе СНиП II-4—79 определяется максимально допустимое значение $\mathcal{L}/h_p$ для разных значений показателя ослепленности и для различных типов ламп.

В качестве примера для люминесцентных ламп типов ЛБ, ЛХБ, ЛТБ и ЛЕ в табл. 3.8 показаны максимально допустимые значения $\mathcal{L}/h_p$ для отдельных групп светильников из табл. 3.7. Подобные таблицы имеются и для светильников с лампами накаливания, ДРЛ и МГЛ.

Инженерные методы расчета осветительных установок, разработанные ВНИСИ, содержат аналогичные таблицы для светильников остальных групп табл. 3.7, а также люминесцентных ламп других типов.

Порядок пользования методом следующий.

1. По табл. 3.7 определяют номер группы светильника по типовой кривой силы света и величине защитного угла (в табли-

це как пример приведены типы выпускаемых светильников, относящихся к каждой группе).

Таблица 3.7

Номер группы	Тип кри- вой силы света по ГОСТ 13828-74	Защитный угол, град, не менее, в плоскости		Примеры светильников
		попереч- ной	продоль- ной	
А. Светильники с люминесцентными лампами				
1	К, Г	30	—	ПУ-25; ЛСП13(005 008)
2	Д	15	—	ЛД; ЛДО; ОД; ОДО; ПВЛМ-Д; ЛСПО02; (01—09); ЛСП06 (0,5; 013)
3	Д	15	15	ЛДР; ЛДОР; ОДР; ОДОР; ПВЛМ-ДОР; ПВЛМ-ДР; ЛСП02(10—18); ЛСП06 (07,15)
4	Д	30 (услов- ный)	30	ШОД; ЛПР; ЛСО02
5	Д	30 (услов- ный)	30 (услов- ный)	ВЛВ; ВЛЮ; ПВЛП; ПВЛПЕ; УСЛ-35; ЛПВ (31,33); ЛПО02
6	Д	15 (услов- ный)	15	ПВЛМ с лампами ЛБР и ЛХБР
7	Д	15 (услов- ный)	15	ПВЛМ—Р с лампами ЛБР и ЛХБР
8	Л	30 (услов- ный)	30	ЛСП13(001—002); ПУ—23
Б. Светильники с лампами накаливания, ДРЛ и ДРИ				
11	К	30	30	Гк; ГСП10/К
12	К	15	15	С35ДРЛ; РСП05/К; РСП13—003; РСП18—003
13	Г	30	30	Гс; ГсУ; НСП17; ГСП10/Г
14	Г	15	15	С34ДРЛ; РСП05/Г; РСП08/Г; РСП13-002; РСП18-002
15	Д	30	30	ППД2; УПД
16	Д	15	15	Астра 1, 11, 12; СД2ДРЛ; РСП08/Д; РСП05/Д; РСП13—001; РСП18—001
17	Л	30	30	С; СУ
18	Л	15	15	РСП08/Л
19	М (с молоч- ным рассеи- вателем)	90 (услов- ный)	90 (услов- ный)	ПО—02; ПО 21; НСО—02
В. Лампы — светильники				
21	К	15	15	ДРИЗ
22	К	—	—	ЗК
23	Г	—	—	ЗС
24	Д	—	—	ДРЛР

Таблица 3.8

Номер группы по табл. 3.7	Максимально допустимое значение $\mathcal{E}/h_p$																
	$P = 20$				$I = 40$				$P = 60$								
	Разряд работ по СНиП II-4—79																
	Ia, IIa	IIб,в,г IIб,в,г		IIIa, IVa, Va		IIIб,в,г IVб,в,г Vб,в,г		VI, VIIa									
$h_p, м$	Мощность λ , мпы, Вт																
1	2	40	65	80	150	40	65	80	150	40	65	80	150				
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
	1,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	2,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	2,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	3,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	4,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	5,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	5,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	6,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	7,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
8,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
10,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
12,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
	2	40	65	80	150	40	65	80	150	40	65	80	150				
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
		1,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		2,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Номер группы по табл. 3.7	h _р , м	Максимально допустимое значение $\mathcal{L}/h_p$																	
		P = 20				P = 40												P = 60	
		Разряд работ по СНиП П-4—79																	
		Ia, IIa		Iб,в,г IIб,в,г		IIIa, IVa, Va		IIIб,в,г IVб,в,г Vб,в,г		VI, VIIa									
Мощность лампы, Вт																			
		40	65	150	40	65	80	150	40	65	80	150	40	65	80	150			
1	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	17		
2	4,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,9		
	5,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,1		
	5,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,3		
	6,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+		
	7,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+		
	8,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+		
	10,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+		
	12,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+		
3	1,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
	2,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,1		
	2,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,3		
	3,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,5		
	4,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,6		
	4,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+		

Примечание. Знак «—» означает, что применение светильников данной группы не допускается, а знак «+», что применение светильников данной группы допускается при любых значениях $\mathcal{L}/h$.

2. По табл. 3.8 для данной группы светильников определяют максимально допустимые по слепящему действию $\mathcal{L}/h_p$ с учетом разряда и подразряда зрительной работы (по главе СНиП П-4—79) и высоты установки светильников над рабочей поверхностью. При этом учитывается, что: а) значения $\mathcal{L}/h_p$ приведены для квадратных полей расположения световых точек, при прямоугольных или ромбических полях $\mathcal{L} = \sqrt{\mathcal{L}_x \cdot \mathcal{L}_y}$, где $\mathcal{L}_x$ и $\mathcal{L}_y$ — расстояния между светильниками соответственно по ширине и длине помещения; б) значения $\mathcal{L}/h_p$ в табл. 3.8 указаны для нормируемых показателей ослепленности P , равных 20, 40 и 60. При $P = 80$ все светильники при любых $\mathcal{L}/h_p$ удовлетворяют требованиям норм по ограничению ослепленности, если $h_p \geq 2,5$ м; в) светильники с люминесцентными лампами групп 4 и 8 при расположении вдоль линии зрения удовлетворяют требованиям норм по ограничению ослепленности при любых значениях P , h_p и $\mathcal{L}/h_p$; г) при необходимости установки светильников на высоте не указанной в табл. 3.8, допустимое значение $\mathcal{L}/h_p$ можно найти линейной интерполяцией.

§ 3. 10. Инженерные методы расчета показателя дискомфорта

Проверка осветительных установок общественных зданий на соответствие регламентируемым значениям показателя дискомфорта производится по специально разработанной таблице, часть которой в качестве примера приводится для отдельных типов светильников в табл. 3.9 и 3.10. В них значение показателя дискомфорта дается в зависимости от светораспределения светильника (рис. 3.33) и распределения светового потока светильника в верхнюю и нижнюю полусферы, а также его геометрических размеров.

Определение соответствия осветительной установки требованиям по показателю дискомфорта осуществляется в такой последовательности. По типу светораспределения светильника (рис. 3.33) устанавливается их группа. По табл. 3.9 согласно доли светового потока, падающего в нижнюю полусферу, определяют подгруппу светильника. При этом поправочный коэффициент k_n находят по формуле

$$k_n = 0,5 \sqrt{\Phi_{\text{ср}}/\sigma}, \quad (3.44)$$

где $\Phi_{\text{ср}}$ — реальный световой поток светильника в нижнюю полусферу, тыс. лм; σ — площадь выходного отверстия светильника, м^2 (подсчитывается по действительным размерам светильника).

Из рис. 3.34 по площади и высоте помещения определяют индекс помещения — i .

По табл. 3.10 согласно группе и подгруппе, коэффициентам отражения стен (ρ_s) и пола (ρ_n) находят значение индекса помещения i , (табличное значение), при котором обеспечивается регламентируемое максимальное значение показателя дискомфорта M .

$\Phi_{\text{св}}/\Phi_{\text{св}}$	$K_{\text{св}}$	Под- груп- па	Группы светильников и светораспределение			
			I $I_{\alpha} = I_0 \cos \alpha$	II $I_{\alpha} = I_0 \cos^{1,43} \alpha$	III $I_{\alpha} = I_0 \cos^2 \alpha$	IV $I_{\alpha} = I_0 \cos^3 \alpha$
	1,1	2			Л201Б420-01	—
	1,2	6	Л201Б420-03 Л201Б420-18; Л201Б420-24	Л201Г220-22 Л201Б420-22 ЛП1013-2× ×40/П-01 ЛПО02-4×20/ П-01; УСП-35- 2×20	—	
0,76— 1,00	1,3	в	Л201Б420-04; Л201Б420-05; Л201Б440-22; Л201Г220-24	Л201Б420-02	Л201Б440-01, УСП-35-4×20	
1,7— 1,8	1,9	з	Л201Б465-03М ЛПО02-2× ×40/П-02	Л201Б465-02М	—	—
	2,4	и	—	—	—	СВП-1×200
	2,9	к	—	—	—	НВ-1-1×100
	3,3	л	—	—	—	СВП-1×100
	3,6	м	—	—	—	СВП-1×500
0,51— 0,75	1,2	н			ШОД-2×40; ШОД-2×80 ЛСО02-2×40/ Р-01 ЛСО02- 2×40/Р-02 ЛСО02-2×65/ Р-01 ЛСО02- 2×65/Р-02 ЛСО02-4×40/ Р-02 ЛСО04- 2×40-003 ЛСО04-2×40- 004 ЛСО04- 2×65-003 ЛСО04-2×65- 004 ЛСО04- 4×40-003 ЛСО04-4×40- 004	— —
	1,3	о	—	—	ЛСО02-2×40- Р/03 ЛСО04- 2×40-002	—

$\Phi_{\text{св}}/\Phi_{\text{св}}$	$K_{\text{м}}$	Под- груп- па	Группы светильников и светораспределение			
			I $I_a = I_0 \cos \alpha$	II $I_a = I_0 \cos^{1,43} \alpha$	III $I_a = I_0 \cos^2 \alpha$	IV $I_a = I_0 \cos^3 \alpha$
	1,4	п	—	—	ЛСО02-2×65/ Р-03 ЛСО04- 2×65-002 ЛСО04-2×65- 005	—
0,5 и менее	0,9— 11	р	ПКР-300, СК-300	—	—	—

Т а б л и ц а 3.10

Группа и под- группа светиль- ников	Максимально допустимые значения I_r										
	15		25				40				60
Q_c	0,5	0,5	0,5	0,5	0,3	0,3	0,5	0,5	0,3	0,3	0,3
Q_r	0,3	0,1	0,3	0,1	0,3	0,1	0,3	0,1	0,3	0,1	0,1
I_6	—	—	2,2	1,5	1,1	1,0	+	+	4,2	2,4	+
I_b	—	—	1,5	1,3	1,0	—	+	+	2,6	2,1	+
I_r	—	—	1,3	1,2	—	—	+	4,4	2,2	1,4	+
I_d	—	—	1,2	1,1	—	—	+	3,1	1,4	1,3	+
I_e	—	—	1,2	1,1	—	—	4,2	2,5	1,3	1,2	3,8
$I_{ж}$	—	—	1,1	1,0	—	—	2,6	2,2	1,2	1,1	2,5
I_z	—	—	1,1	1,0	—	—	1,9	1,5	1,2	1,1	2,2
I_m	1,6	1,4	+	+	+	+	+	+	+	+	+
I_p	1,4	1,1	+	+	+	+	+	+	+	+	+
II_6	1,0	—	+	2,4	1,2	1,1	+	+	+	+	+
II_b	—	—	2,7	2,0	1,1	1,0	+	+	+	+	+
II_r	—	—	2,1	1,4	1,0	—	+	+	+	2,4	+
II_d	—	—	1,4	1,2	—	—	+	+	+	1,5	+

Группа и под- группа светиль- ников	Максимально допустимые значения i_t										
	15		25				40				60
II _e	—	—	1,2	1,0	—	—	+	+	2,1	1,3	+
II _ж	—	—	1,1	1,0	—	—	+	3,5	1,4	1,2	+
II _г	—	—	1,1	1,0	—	—	+	2,3	1,2	1,1	4,0
III _a	—	—	+	+	+	+	+	+	+	+	+
III _в	—	—	+	+	+	1,1	+	+	+	+	+
III _г	—	—	+	+	1,1	—	+	+	+	+	+
III _e	—	—	1,2	1,1	—	—	+	+	2,3	1,4	+
III _ж	—	—	+	1,1	—	—	+	+	+	+	+
III _и	4,5	1,2	+	+	+	+	+	+	+	+	+
III _н	1,2	1,0	4,0	2,4	1,3	1,1	+	+	+	3,9	+
III _п	1,0	—	2,4	1,6	1,2	1,1	+	+	+	2,4	+
IV _и	—	—	+	—	—	—	+	+	+	—	+
IV _к	—	—	—	—	—	—	2,0	1,1	—	—	1,3
IV _л	—	—	—	—	—	—	+	+	+	—	+
IV _м	—	—	—	—	—	—	+	—	—	—	—

Оценка соответствия рассматриваемой осветительной установки требованиям по ограничению слепящего действия по дискомфорту производится сравнением i_t и i : при $i < i_t$ осветительная установка соответствует требованиям по дискомфорту; $i > i_t$ — установка не соответствует этим требованиям.

Приведенная табл. 3.10 составлена для помещений с коэффициентом отражения потолка 0,5–0,7. Нормируемое значение показателя дискомфорта $M = 90$ обеспечивается при условиях, для которых составлена таблица. Нормируемое значение $M = 60$ обеспечивается при всех сочетаниях q_c и q_n , кроме $q_c = 0,3$ и $q_n = 0,1$. Нормируемые значения $M = 15$ не обеспечиваются при сочетаниях q_c и q_n , равных 0,3; 0,1 (кроме подгруппы светильников 1 м, для которых $i_t = 1,1$).

Пример 3.11. Для освещения конструкторского бюро площадью 6×18 м, высотой 3 м коэффициенты отражения стен, потолка и пола были равны 0,5; 0,7 и 0,1, выбраны люминесцентные светильники типов Л201Б465-03М и ЛС002Х65/Р-01. Требуется оценить возможность использования указанных светильников для данной осветительной установки, исходя из требований к ограничению слепящего действия по дискомфорту. Регламентируемое значение $M = 40$.

По табл. 3.9 определяем группу и подгруппу светильников: I_г и III_и соответственно, по табл. 3.10 — максимально допустимые значения индекса помещения: $i_t = 1,5$ для светильников типа Л201Б465-03М, для светильников ЛС002-2Х65/Р-01 значение M не превышает регламентируемого при любых размерах помещения.

По рис. 3.34 определяем реальный индекс помещений $i = 2,05$. Так как $i > i_t$ светильники типа Л201Б465-03М не обеспечивают регламентируемого значения M в данной осветительной установке.

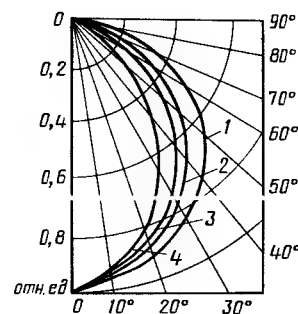


Рис. 3.33. Типовые кривые силы света светильников I_a :
1 — $I_a \cos \alpha$; 2 — $I_a \cos^{1.43} \alpha$; 3 — $I_a \cos^2 \alpha$;
4 — $I_a \cos^3 \alpha$

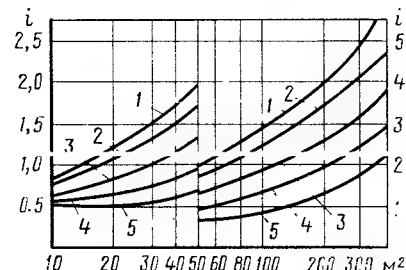


Рис. 3.34. Зависимость индекса помещения i от его площади при различной расчетной высоте h_p , м:
1—1,8; 2—2,1; 3—2,7; 4—3,6; 5—4,5

§ 3.11. Цилиндрическая освещенность

По определению, *цилиндрическая освещенность* есть средняя освещенность боковой поверхности вертикального цилиндра, размеры которого стремятся к нулю.

Цилиндрическая освещенность от отдельных светильников легко определяется делением вертикальной освещенности в плоскости, перпендикулярной проекции луча, на π .

В инженерных методах расчета для определения ее значения принимаются следующие допущения: ограждающие поверхности помещения (пол, потолок, стены) принимаются диффузными, равномерными по всей поверхности; действующие светильники заменяются равномерной поверхностью, каждый элемент которой имеет светораспределение, соответствующее светораспределению светильника; светораспределение светильника принимается соответствующим формуле

$$I_a = I_o \cos^m \alpha, \quad (3.45)$$

где I_o — сила света в направлении вертикали; I_a — сила света под углом α к вертикали.

$$m = 2\pi I_0 / \Phi_{\text{с}} - 1 \quad (3.46)$$

где $\Phi_{\text{с}}$ — поток светильника в нижнюю полусферу, равный для светильников прямого света 1 000 (·) к. п. д. светильника. Для расчетов М. М. Епанешниковым предложены графики значений m , равных 1; 1,4; 2; 3, в которых приводятся отношения горизонтальной освещенности к цилиндрической в зависимости от общепринятого индекса помещения и коэффициентов отражения стен ($\rho_{\text{с}}$) и расчетной поверхности ($\rho_{\text{р}}$) (рис. 3.35).

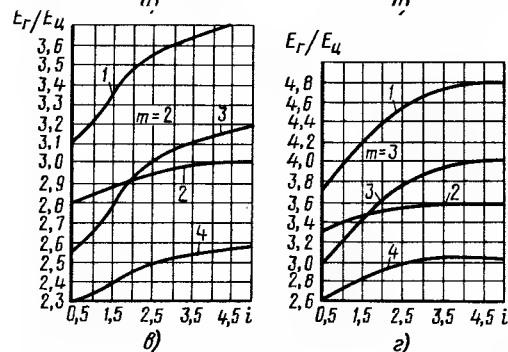


Рис. 3.35. Графики для расчета цилиндрической освещенности:

а — для $m = 1.0$; б — для $m = 1.4$; в — для $m = 2$; г — для $m = 3$

Пример 3.12. В помещении фойе кинотеатра размером $32 \times 20 \text{ м}^2$, высотой 3,8 м на потолке установлены люминесцентные светильники прямого света, имеющие к.п.д. 0,7 и силу света $I = 270 \text{ кл.}$

Коэффициенты отражения ограждающих поверхностей стен и пола равны: $\rho_{\text{с}} = 50\%$, $\rho_{\text{р}} = 30\%$.

На какую горизонтальную освещенность должно быть рассчитано освещение помещения, чтобы получить цилиндрическую освещенность $E_{\text{ц}} = 150 \text{ лк}$?

Для данного светильника

$$m = 2\pi I_0 / \Phi_{\text{с}} - 1 = (6,28 \cdot 270) / 700 - 1 \approx 1,4.$$

Индекс помещения

$$i = \frac{640}{3,8(32 + 20)} = 3,2.$$

По рис. 3.35,б находим $E_{\text{г}} : E_{\text{ц}} = 2,18$, откуда $E_{\text{г}} = 2,18 \cdot 150 = 327 \text{ лк}$. Коэффициент запаса учтен при составлении графиков.

§ 4.1. Общие положения

Расчет электрических осветительных сетей заключается в определении сечений проводов и кабелей, при которых рабочий ток линий не создает перегрева проводов, обеспечиваются требуемые уровни напряжения у ламп и достаточная механическая прочность проводов.

Расчет сети основывается на определении нагрузок и тока на отдельных участках, тока аппарата защиты (автоматов и предохранителей); разработке предложений по повышению коэффициента мощности в сетях газоразрядных ламп высокого давления, а также стабилизации напряжения в осветительных сетях.

Сечение проводов определяют на основании: 1) минимально допустимого напряжения на источниках света (расчет по потере напряжения); 2) минимального расхода проводникового материала (расчет на минимум проводникового материала); 3) тока нагрузки согласно допустимой температуре нагрева проводов (расчет по току нагрузки); 4) механической прочности проводов и кабелей (выбор сечения проводов по механической прочности).

Из полученных сечений проводов по перечисленным показателям выбирают наибольшее. Предварительно до расчета сечения проводов по току нагрузки и потере напряжения необходимо рассчитать установленную мощность и расчетную нагрузку по отдельным групповым линиям, щиткам и линиям питающей сети.

Установленную мощность освещения $P_{\text{у}}$ определяют как сумму мощностей всех ламп, питаемых соответствующим участком сети, а для светильников с газоразрядными лампами к мощности ламп добавляют потери в ПРА: для люминесцентных ламп при стартерных схемах включения — 20%, при бесстартерных ПРА — 30%, для ламп типа ДРЛ — 10% от мощности ламп. При расчете групповых линий учитывается одновременная нагрузка на все светильники, т. е. расчетная нагрузка $P_{\text{р}}$, равная установленной мощности. Для определения расчетной нагрузки питающей сети вводится коэффициент спроса $k_{\text{с}}$, равный отношению расчетной нагрузки к установленной мощности: $P_{\text{р}} = P_{\text{у}} k_{\text{с}}$.

При отсутствии данных, основанных на специальных обследованиях, коэффициент спроса $k_{\text{с}}$ принимается равным: 1,0 — для небольших производственных и общественных зданий, торговых помещений и линий наружного освещения, для линий, питающих отдельные групповые щитки независимо от их нагрузки и назначения освещаемого помещения; 0,95 — для производственных зданий, состоящих из отдельных крупных пролетов; 0,85 — для производственных зданий, состоящих из многих отдельных помещений; 0,8 — для административно-бытовых, инженерно-лабораторных и других корпусов; 0,6 — для складских зданий, состоящих

из многих отдельных помещений. Расчетные нагрузки для питающих линий жилых домов определяют, исходя из удельной нагрузки на одну квартиру и числа квартир, питаемых одной линией.

§ 4.2. Расчет сетей по потере напряжения

Напряжение, подводимое к лампе, значительно влияет на ее световой поток: уменьшение напряжения вызывает снижение светового потока. Поэтому в Правилах устройства электроустановок (ПУЭ) регламентируется допустимое напряжение на лампах. В электрических осветительных сетях рабочего освещения производственных и общественных зданий, а также в сетях, питающих прожекторные установки наружного освещения, на наиболее удаленных лампах должно гарантироваться напряжение не ниже 97,5% от номинального. В сетях наружного освещения, в сетях жилых зданий, аварийного освещения допускается снижение напряжения на наиболее удаленных лампах до 95%. Наибольшее напряжение на лампах не должно превышать 105% от их номинального напряжения. В сетях пониженного напряжения (12 и 42 В), начиная от выводов обмотки питающего трансформатора, допускается увеличение потерь напряжения до 10%.

Полные располагаемые потери напряжения определяются внутренними потерями в трансформаторе и потерями в электрической сети. Поэтому расчетные потери напряжения в сети от щита низшего напряжения трансформаторной подстанции до наиболее удаленной лампы — ΔU_c находят по формуле

$$\Delta U_c = \Delta U - \alpha \Delta U_t, \quad (4.1)$$

где ΔU — полная располагаемая потеря напряжения на стороне низшего напряжения трансформаторной подстанции, %, определяемая по формуле

$$\Delta U = \frac{U_x - U_n}{U_{ном}} 100, \quad (4.2)$$

где U_x — напряжение холостого хода трансформатора; U_n — допустимое напряжение на наиболее удаленной лампе; $U_{ном}$ — номинальное напряжение лампы; α — коэффициент, определяемый отношением напряжения холостого хода трансформатора к номинальному напряжению сети; ΔU_t — потери напряжения внутри трансформатора,

$$\Delta U_t = \beta (U_{ат} \cos \varphi + U_{рт} \sin \varphi), \quad (4.3)$$

где $U_{ат}$ — активная составляющая напряжения короткого замыкания, %; $U_{рт}$ — реактивная составляющая напряжения короткого замыкания, %; β — коэффициент загрузки трансформатора — отношение фактической нагрузки к номинальной мощности трансформатора; $\cos \varphi$ — коэффициент мощности на зажимах вторичной обмотки трансформатора.

Значения $U_{ат}$ и $U_{рт}$ определяются следующими выражениями:

$$U_{ат} = \frac{P_k}{P_{ном}} \cdot 100, \quad (4.4)$$

$$U_{рт} = \sqrt{U_k^2 - U_{ат}^2}, \quad (4.5)$$

где P_k — потери короткого замыкания при номинальной нагрузке (потери в обмотках трансформатора), кВт; $P_{ном}$ — номинальная мощность трансформатора, кВт · А; U_k — напряжение короткого замыкания, %.

Значения P_k и U_k приведены в каталогах на трансформаторы.

При переменном токе сопротивление проводов больше их сопротивления при постоянном токе, что объясняется наличием поверхностного эффекта и эффекта близости. Влияние этих двух факторов на сопротивление проводов в осветительных сетях ничтожно, что позволяет при расчетах осветительных сетей принимать активное сопротивление проводов равным их сопротивлению при постоянном токе.

Для осветительных сетей с высоким коэффициентом мощности, прокладываемых в помещениях, а также кабельных сетей влияние индуктивного сопротивления линии на потерю напряжения весьма мало. Поэтому индуктивное сопротивление не учитывается при расчете сетей, прокладываемых в помещениях, а также наружных кабельных сетей.

Рассмотрим однородную двухпроводную сеть переменного тока (рис. 4.1)

Если напряжение в начале и конце сети обозначить через U_1 и U_2 и принять одинаковым коэффициент мощности ($\cos \varphi$), то потеря напряжения в обоих проводах рассматриваемых линий будет равна

$$\Delta U = U_1 - U_2 = 2(I_1 r_1 + I_2 r_2 + I_3 r_3) \cos \varphi, \quad (4.6)$$

где I_1, I_2, I_3 — токи, протекающие по участкам, А; r_1, r_2, r_3 — сопротивления отдельных участков, Ом; l_1, l_2, l_3 — длины отдельных участков, м.

Для линий, имеющих n нагрузок, формулу (4.6) можно переписать в виде

$$\Delta U = 2 \cos \varphi \sum_{i=1}^n I_i r_i. \quad (4.7)$$

На основании схемы, изображенной на рис. 4.1, можно составить следующие соотношения:

$$\begin{aligned} I_1 &= i_1 + i_2 + i_3; & I_2 &= i_2 + i_3; & I_3 &= i_3; \\ R_1 &= r_1; & R_2 &= r_1 + r_2; & R_3 &= r_1 + r_2 + r_3. \end{aligned}$$

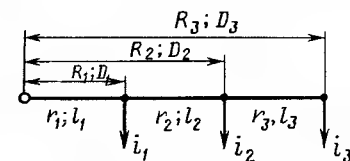


Рис.4.1. Схема двухпроводной сети переменного тока

Заменяя токи, протекающие через отдельные участки сети, через нагрузочные токи и сопротивления участков — через сопротивления отрезков линии от источника питания до места приложения соответствующей нагрузки, получим

$$\Delta U_{\phi} = 2 \cos \varphi \sum i R. \quad (4.8)$$

Для линии, однородной по всей длине,

$$R = \frac{\rho D}{S \cdot 10^6}, \quad (4.9)$$

$$R = \frac{D}{\gamma S \cdot 10^6}, \quad (4.10)$$

где D — длина питающей линии, м; R — сопротивление линии, Ом; ρ — удельное сопротивление проводника, Ом·м; S — сечение провода, мм²; γ — удельная проводимость проводника, 1/Ом·м.

Тогда формула (4.8) примет вид

$$\Delta U_{\phi} = \frac{2 \cos \varphi}{\gamma S} \sum i D. \quad (4.11)$$

Значения ρ и γ с учетом средней эксплуатационной температуры осветительных проводников 35°C могут быть приняты: для алюминиевых проводников $\rho = 33 \cdot 10^{-9}$ Ом·м, $\gamma = 30,5 \cdot 10^6$ Ом⁻¹·м⁻¹; для медных проводников $\rho = 20 \cdot 10^{-9}$ Ом·м, $\gamma = 50 \cdot 10^6$ Ом⁻¹·м⁻¹.

В условиях практики нагрузка потребителей обычно задается не токами, а мощностями, выраженными в кВт. Заменяя нагрузочные токи в формуле (4.11) мощностями подключенных к данной точке источников света, получим

$$i = P/U_{\phi}; \quad \Delta U_{\phi} = \frac{2 \cos \varphi}{\gamma S U_{\phi}} \sum P D, \quad (4.12)$$

где U_{ϕ} — напряжение сети (считаем напряжение сети в точках приложения нагрузки равным номинальному, хотя фактическое напряжение в точках приложения нагрузки отличается от номинального на величину потери напряжения на участках линии между нагрузками, которая обычно не превышает 5%); P — мощность нагрузки.

При нагрузке, выраженной в кВт, и потере напряжения в процентах от номинального напряжения получим

$$\Delta U \% = \frac{2 \cdot 10^5}{\gamma S U_{\phi}^2} \sum P D. \quad (4.13)$$

Произведение PD обычно называют моментом нагрузки и обозначают буквой M . Так как напряжение сети и материал провода обычно задаются, уравнение (4.13) можно записать в следующем виде:

$$\Delta U \% = \sum M / (c S), \quad (4.14)$$

где

$$c = \frac{\gamma U_{\phi}}{2} \cdot 10^{-5}.$$

Анализ формулы (4.14) показывает, что потеря напряжения в сетях зависит от суммы моментов нагрузки M , сечения проводов S и постоянного для данной сети коэффициента c , зависящего от материала провода, напряжения сети и числа проводов. Значение коэффициента c приведено в табл. 4.1.

Согласно формуле (4.14) потеря напряжения не зависит от коэффициента мощности сети. Однако при низком значении коэффициента мощности резко возрастает рабочий ток при той же мощности нагрузки, что следует учитывать при проверке сети на допустимую плотность тока.

Таблица 4.1

Номинальное напряжение сети, В	Система сети и род тока	Выражение коэффициента c	Значение коэффициента c для проводников	
			медных	алюминевых
380/220	Трехфазная с нулем	$\frac{\gamma U_{\phi}^2}{10^5}$	72	44
380	Трехфазная без нуля		72	44
220/127	Трехфазная с нулем		24	14,7
220	Трехфазная без нуля		24	14,7
36		$\frac{\gamma U_{\phi}^2}{2 \cdot 10^5}$	0,648	0,396
24			0,288	0,176
12			0,072	0,044
380/220	Двухфазная с нулем	$\frac{\gamma U_{\phi}^2}{2,25 \cdot 10^5}$	32	19,5
220/127			10,7	6,5
220	Двухпроводная переменного или постоянного тока	$\frac{\gamma U^2}{2 \cdot 10^5}$	12	7,4
127			4	2,46
36			0,324	0,198
24			0,144	0,088
12			0,036	0,022

Пример 4.1. Определить потерю напряжения в групповой одиночной линии переменного тока напряжением 220 В с лампами ДРЛ мощностью 500 Вт, если сеть однородна и выполнена алюминиевым проводом сечения 6 мм², проложенным открыто на изоляторах.

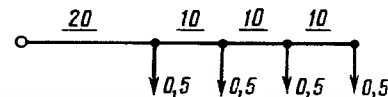


Рис. 4.2. К примеру расчета двухпроводной сети

Нагрузки и их распределение вдоль линии указаны на рис. 4.2. Длины отдельных участков линий обозначены подчеркнутыми цифрами. Коэффициент мощности нагрузки $\cos \varphi = 0,55$. Потери в балластах составляют 10% мощности линии.

Пользуясь формулой (4.14) и выбирая из табл. 4.1 значение постоянной c , получаем

$$\Delta U = \frac{1}{cS} \Sigma M = \frac{1,1}{7,4 \cdot 6} (0,5 \cdot 20 + 0,5 \cdot 30 + 0,5 \cdot 40 + 0,5 \cdot 50) = 1,73\%.$$

Расчет четырехпроводных трехфазных равномерно нагруженных сетей переменного тока. Трехфазные сети позволяют передавать требуемую мощность при более высоком линейном напряжении, поэтому они шире распространены, чем двухпроводные. При трехфазных сетях необходимо стремиться к равномерной нагрузке фаз, т. е. к равенству моментов нагрузки по фазам, так как при несоблюдении равенства нагрузок появляются уравнивающие токи в нулевом проводе и возникают различные потери напряжения в разных фазах сети.

Рассмотрим трехфазную сеть (рис. 4.3) и определим равномерность нагрузки ее фаз. Для этого подсчитаем моменты нагрузок каждой фазы:

$$\Sigma M_1 = p l + p 5l + 6 p l;$$

$$\Sigma M_2 = p 2l + p 4l = 6 p l;$$

$$\Sigma M_3 = p 3l + p 3l = 6 p l.$$

Равенство моментов $\Sigma M_1 = \Sigma M_2 = \Sigma M_3$ является неперменным и достаточным условием равномерной нагрузки фаз. При равномерной нагрузке в трехфазной сети токи в фазных проводах равны между собой и имеют одинаковый сдвиг фаз по отношению к фазным напряжениям, что позволяет, определив потерю напряжения в одной фазе, перейти к полной потере напряжения во всех фазах. Так как в равномерно нагруженной трехфазной сети ток по нулевому проводу не протекает и обратным проводом каждой фазы является один из проводов двух других фаз, потерю напряжения в фазе можно определить по формуле

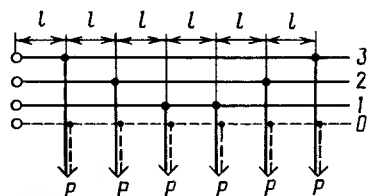


Рис. 4.3. Схема четырехпроводной трехфазной сети переменного тока

фазы является один из проводов двух других фаз, потерю напряжения в фазе можно определить по формуле

$$\Delta U_\phi = \frac{\cos \varphi}{\gamma S} \Sigma i D. \quad (4.15)$$

Выражая ток через суммарную мощность нагрузки всех трех фаз

$$i = P / (3 U_\phi \cos \varphi), \quad (4.16)$$

получаем полную потерю напряжения в трехфазной линии

$$\Delta U = \frac{0,33}{U_\phi \gamma S} \Sigma P D. \quad (4.17)$$

При суммарной нагрузке, выраженной в кВт, и потере напряжения в процентах от номинального напряжения получим

$$\Delta U\% = \frac{0,33 \cdot 10^5}{U_\phi^2 \gamma S} \Sigma P D, \quad (4.18)$$

обозначая через

$$c = \frac{\gamma U_\phi^2}{0,33 \cdot 10^5}, \quad (4.19)$$

окончательно получаем

$$\Delta U\% = \Sigma M / (c S). \quad (4.20)$$

Пример 4.2. Определить наибольшую потерю напряжения в сети (рис. 4.4).

Питающая сеть выполнена четырехпроводной, групповые линии двухпроводные. Все линии выполнены алюминиевым проводом на изоляторах, сечение питающей сети 10 мм², групповых линий 6 мм². Нагрузка чисто активная – светильники с лампами накаливания мощностью 1000 Вт, напряжение сети 380/220 В.

Потерю напряжения в четырехпроводной питающей линии (на участке АБ) определяем из уравнения (4.20), принимая постоянную c из табл. 4.1 равной 46

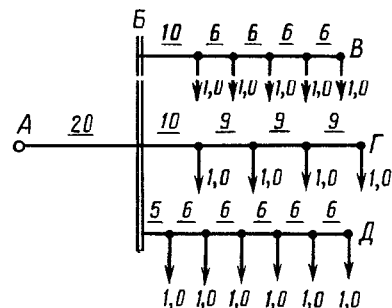


Рис. 4.4. К примеру расчета четырехпроводной сети переменного тока

$$\Delta U_{AB} = \frac{15 \cdot 20}{46 \cdot 10} = 0,65\%.$$

Принимая постоянную $c = 7,4$, для двухпроводной линии 220 В находим потери напряжения в групповых линиях:

$$\Delta U_{BB} = \frac{1}{7,4 \cdot 6} (1 \cdot 10 + 1 \cdot 16 + 1 \cdot 22 + 1 \cdot 28 + 1 \cdot 34) = 2,25\%.$$

$$\Delta U_{BG} = \frac{1}{7,4 \cdot 6} (1 \cdot 10 + 1 \cdot 19 + 1 \cdot 28 + 1 \cdot 37) = 2\%.$$

$$\Delta U_{BD} = \frac{1}{7,4 \cdot 6} (1 \cdot 5 + 1 \cdot 11 + 1 \cdot 17 + 1 \cdot 23 + 1 \cdot 29 + 1 \cdot 35) = 2,7\%.$$

Результаты расчета показывают, что наибольшая потеря напряжения будет на участке АД; $\Delta U_{AD} = \Delta U_{AB} + \Delta U_{BD} = 0,65 + 2,7 = 3,35\%$.

Неравномерно нагруженные сети имеют место в городских осветительных сетях, питающих однофазные осветительные и другие приборы, а также в сетях наружного освещения, выполненного прожекторами с источниками света значительной мощности.

При подключении к разным фазам сети неодинаковой нагрузки (рис. 4.5) по нулевому проводу пойдет уравнивающий ток, что приведет к смещению нулевой точки в линии, вследствие чего в разных фазах теряется различное напряжение. Если обозначить

линейные токи отдельных фаз через I_1, I_2, I_3 , то уравнительный ток в нулевом проводе

$$I_0 = I_1 + I_2 + I_3. \quad (4.21)$$

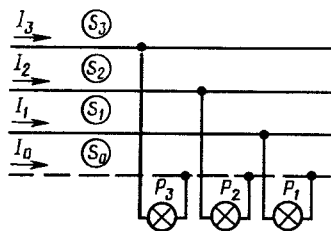


Рис. 4.5. Схема четырехпроводной сети переменного тока при неравномерной нагрузке фаз

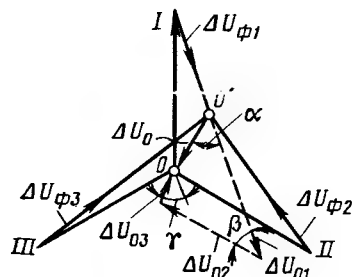


Рис. 4.6. Векторная диаграмма четырехпроводной сети с неравномерной нагрузкой фаз

Падение напряжения в нулевом проводе, вызванное уравнительным током, определяют как произведение тока на активное сопротивление нулевого провода r_0 :

$$\Delta U_0 = I_0 r_0 = I_1 r_0 + I_2 r_0 + I_3 r_0. \quad (4.22)$$

На рис. 4.6 дана векторная диаграмма, соответствующая рассматриваемому случаю. Отрезки $OI, OII, OIII$ являются изображением фазных напряжений источника питания $\dot{U}_{\phi 1}, \dot{U}_{\phi 2}, \dot{U}_{\phi 3}$. Падение напряжения в нулевом проводе приводит к смещению нулевой точки диаграммы из O в O' .

Из приведенной диаграммы (рис. 4.6) находим потери напряжения в каждой из фаз. Для первой фазы можно написать

$$\Delta U_1 = \Delta U_{\phi 1} + \Delta U_0 \cos \alpha, \quad (4.23)$$

где $\Delta U_{\phi 1}$ — потеря напряжения в фазовом проводе; $\Delta U_0 \cos \alpha$ — потеря напряжения в нулевом проводе, вызванная током первой фазы.

Вектор падения напряжения в нулевом проводе согласно уравнению (4.22) можно разложить на три составляющие, совпадающие по направлению с линейным током каждой фазы и выражающие собой падение напряжения, вызываемое в нулевом проводе соответственно токами первой, второй и третьей фаз (см. рис. 4.6):

$$\Delta U = \Delta U_{01} + \Delta U_{02} + \Delta U_{03}. \quad (4.24)$$

Потерю напряжения в нулевом проводе, вызванную током первой фазы, можно определить по формуле

$$\Delta U_0 \cos \alpha = \Delta U_{01} - \Delta U_{02} \cos \beta - \Delta U_{03} \cos \gamma. \quad (4.25)$$

Вектор фазного напряжения значительно больше падения напряжения в нулевом проводе, поэтому с достаточной для практики точностью можно принять $\varphi \approx \gamma \approx 60^\circ$, тогда

$$\Delta U_0 \cos \alpha = \Delta U_{01} - 0,5(\Delta U_{02} + \Delta U_{03}). \quad (4.26)$$

Согласно (4.23) получаем

$$\Delta U_1 = \Delta U_{\phi 1} + \Delta U_{01} - 0,5(\Delta U_{02} + \Delta U_{03}). \quad (4.27)$$

Аналогичные уравнения можно записать для определения потерь напряжения в других фазах:

$$\left. \begin{aligned} \Delta U_2 &= \Delta U_{\phi 2} + \Delta U_{02} - 0,5(\Delta U_{01} + \Delta U_{03}), \\ \Delta U_3 &= \Delta U_{\phi 3} + \Delta U_{03} - 0,5(\Delta U_{01} + \Delta U_{02}). \end{aligned} \right\} \quad (4.28)$$

Эти формулы получены Д. Г. Цейтлиным для частного случая осветительных сетей с чисто активной нагрузкой.

Потери напряжения в фазных и частичные потери в нулевых проводах определяют по соотношениям:

$$\left. \begin{aligned} \Delta U_{\phi 1} &= \frac{\Sigma M_1}{c S_1}, & \Delta U_{01} &= \frac{\Sigma M_1}{c S_0}, \\ \Delta U_{\phi 2} &= \frac{\Sigma M_2}{c S_2}, & \Delta U_{02} &= \frac{\Sigma M_2}{c S_0}, \\ \Delta U_{\phi 3} &= \frac{\Sigma M_3}{c S_3}, & \Delta U_{03} &= \frac{\Sigma M_3}{c S_0}, \end{aligned} \right\} \quad (4.29)$$

где $\Delta U_1, \Delta U_2, \Delta U_3$ и $\Delta U_{\phi 1}, \Delta U_{\phi 2}, \Delta U_{\phi 3}$ — потери напряжения по отдельным фазам и в фазных проводах, %; $\Delta U_{01}, \Delta U_{02}, \Delta U_{03}$ — потери напряжения в нулевом проводе, вызываемые током соответствующих фаз (частичные потери напряжения); $\Sigma M_1, \Sigma M_2, \Sigma M_3$ — моменты нагрузок отдельных фаз, кВт·м; S_1, S_2, S_3 — сечения проводов отдельных фаз, мм²; S_0 — сечение нулевого провода, мм²; c — коэффициент, зависящий от напряжения в сети и материала проводников, равный при напряжении сети 380/220 В и проводах: медных — 25,6 и алюминиевых — 15,5, а при напряжении сети 220/127 В соответственно 8,5 и 5,2*.

При $S_0 = S_1 = S_2 = S_3$ (4.27) принимает вид

$$\Delta U_1 = (4 \Sigma M_1 - \Sigma M_2 - \Sigma M_3) / (2c S_1). \quad (4.30)$$

при $S_0 = 0,5 S_1 = 0,5 S_2 = 0,5 S_3$

$$\Delta U_1 = (3 \Sigma M_1 - \Sigma M_2 - \Sigma M_3) / (c S_1). \quad (4.31)$$

Формулы (4.30) и (4.31) используют для определения ΔU_2 и ΔU_3 при соответствующей перестановке индексов.

* Эти значения соответствуют удвоенным значениям c для однофазных линий того же фазного напряжения.

Неравномерно нагруженными сетями практически считаются линии с нагрузками отдельных фаз или моментами их нагрузок, отличающимися на 10% от среднего значения. В трехфазных линиях, когда нагрузка к фазам подключается в порядке *A, B, C, A, B, C* и т. д., линии могут считаться равно нагруженными только при питании более 12 светильников — в наружных установках. Требуемое равенство моментов при меньшем числе светильников достигается при расфазировке *A, B, C, C, B, A* и т. д. для трехфазных сетей и *A, B, B, A* — для двухфазных сетей. В этом случае линии могут рассматриваться как симметрично нагруженные при числе светильников 6 для трехфазных и 4 — для двухфазных сетей. Если нормированная освещенность сохраняется при раздельном отключении части фаз, то расчет линии групповой сети по потере напряжения следует проводить как состоящей из нескольких независимых однофазных групп. Если отключение части фаз приводит к созданию в помещении уменьшенной освещенности, то проверку потери напряжения в неполнофазном режиме можно не производить.

В линиях с несимметричной нагрузкой расчетом определяется сечение проводов всех фаз, а также сечение нулевого провода, которое может быть больше, чем сечение некоторых фазных проводов.

Пример 4.3. Определить потери напряжения в фазах четырехпроводной сети, изображенной на рис. 4.7. Напряжение сети 380/220 В, сечение алюминиевых проводов: фазных 10 мм², нулевого 6 мм². Распределение нагрузки по фазам указано у групповых щитков. Допустимая потеря напряжения $\Delta U = 3\%$.

Определим моменты нагрузок для каждой фазы:

$$\Sigma M_1 = 2 \cdot 120 + 1 \cdot 170 + 1 \cdot 220 = 630 \text{ кВт} \cdot \text{м},$$

$$\Sigma M_2 = 2 \cdot 120 + 2 \cdot 170 + 1,5 \cdot 220 = 910 \text{ кВт} \cdot \text{м},$$

$$\Sigma M_3 = 2 \cdot 120 + 2 \cdot 170 + 2 \cdot 220 = 1020 \text{ кВт} \cdot \text{м}.$$

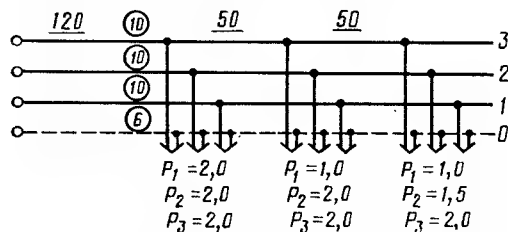


Рис. 4.7. К примеру расчета четырехпроводной сети с неравномерной нагрузкой фаз

По (4.29) определяем потери напряжения в фазных проводах:

$$\Delta U_{\phi 1} = \Sigma M_1 / (c S_1) = 630 / (15,5 \cdot 10) = 4,06\%,$$

$$\Delta U_{\phi 2} = \Sigma M_2 / (c S_2) = 910 / (15,5 \cdot 10) = 5,87\%,$$

$$\Delta U_{\phi 3} = \Sigma M_3 / (c S_3) = 1020 / (15,5 \cdot 10) = 6,58\%.$$

Частичные потери напряжения в нулевом проводе:

$$\Delta U_{01} = \Sigma M_1 / (c S_0) = 630 / (15,5 \cdot 6) = 6,77\%,$$

$$\Delta U_{02} = \Sigma M_2 / (c S_0) = 910 / (15,5 \cdot 6) = 9,78\%.$$

$$\Delta U_{03} = \Sigma M_3 / (c S_0) = 1020 / (15,5 \cdot 6) = 10,97\%.$$

Потери напряжения в фазах согласно уравнениям (4.27) и (4.28):

$$\Delta U_1 = \Delta U_{\phi 1} + \Delta U_{01} - 0,5(\Delta U_{02} + \Delta U_{03}) = 4,06 + 6,77 - 0,5(9,78 + 10,97) = 0,46\%,$$

$$\Delta U_2 = \Delta U_{\phi 2} + \Delta U_{02} - 0,5(\Delta U_{01} + \Delta U_{03}) = 5,87 + 9,78 - 0,5(6,77 + 10,97) = 6,78\%,$$

$$\Delta U_3 = \Delta U_{\phi 3} + \Delta U_{03} - 0,5(\Delta U_{01} + \Delta U_{02}) = 6,58 + 10,97 - 0,5(6,77 + 9,78) = 9,28\%.$$

Фактическая потеря напряжения во второй и третьей фазах значительно превышает допустимую, а первая фаза оказалась недогруженной.

Для перераспределения потерь напряжения изменим сечения проводов в соответствии с отношением моментов нагрузок отдельных фаз. Оставив сечение проводов первой фазы без изменения (10 мм²), увеличим сечение проводов второй фазы до 25 мм², а третьей до 35 мм², а сечение нулевого провода примем равным 16 мм². Проведем аналогичный предыдущему расчет, получим следующее распределение потерь напряжения по фазам: $\Delta U_1 = 2,75\%$, $\Delta U_2 = 2,69\%$, $\Delta U_3 = 2,88\%$.

Полученное распределение потерь напряжения по фазам не превышает допустимого и может быть признано удовлетворительным. В практических расчетах следует пользоваться таблицами моментов, содержащимися в справочниках по светотехнике, позволяющими по заданным M и ΔU найти S или по S и M определить ΔU .

§ 4.3. Расчет электрических осветительных сетей на минимум проводникового материала

Оптимальной по экономическим показателям является сеть, в которой расход проводникового материала минимален, что в большинстве случаев достаточно близко совпадает с минимумом затрат на осветительную сеть. Сечение проводов каждого участка сети определяется по ΔU (потеря напряжения от начала данного участка до конца сети) и приведенному моменту M_n , определяемому по формуле

$$M_n = \Sigma M + \alpha \Sigma m, \quad (4.32)$$

где ΣM — сумма моментов данного и всех последующих по направлению токов участков с тем же числом проводов в линии, что и на данном участке; Σm — сумма моментов питаемых через данный участок линий с иным числом проводов, чем на данном участке; α — коэффициент приведения моментов (табл. 4.2).

Сечение проводов участка электрической сети, рассчитываемое по минимуму проводникового материала, определяют по формуле

Таблица 4.2

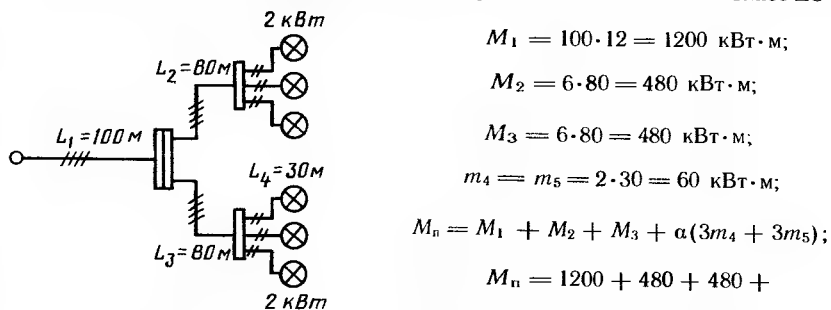
Линия	Ответвления	Коэффициент приведения моментов α
Трехфазная с нулем	Однофазное	1,83
Трехфазная с нулем	Двухфазное с нулем	1,37
Двухфазная с нулем	Однофазное	1,33
Трехфазная без нуля	Двухфазное	1,15

$$S = M_n / (c \Delta U), \quad (4.33)$$

где S — сечение проводов рассчитываемого участка, мм²; M_n — приведенный момент, кВт · м; c — коэффициент, зависящий от системы сети (см. табл. 4.1); ΔU — значение располагаемой потери напряжения от номинального напряжения, %.

Пользуясь данным уравнением, определяют сечение головного участка. Округлив рассчитанное сечение до ближайшего большего по стандарту, находят фактическую потерю напряжения на головном участке по величине момента нагрузки для головного участка, т. е. произведению суммарной нагрузки на длину головного участка. Последующие участки рассчитывают аналогично на оставшуюся потерю напряжения. При раздельном расчете питающей и групповой сетей целесообразное распределение между ними ΔU находят приближенно, исходя из ожидаемого соотношения моментов и учитывая α .

Пример 4.4. Рассчитать на минимум проводникового материала сеть напряжением 380/220 В, показанную на рис. 4.8. Провода алюминиевые. Полное $\Delta U = 3\%$.



$$M_1 = 100 \cdot 12 = 1200 \text{ кВт} \cdot \text{м};$$

$$M_2 = 6 \cdot 80 = 480 \text{ кВт} \cdot \text{м};$$

$$M_3 = 6 \cdot 80 = 480 \text{ кВт} \cdot \text{м};$$

$$m_4 = m_5 = 2 \cdot 30 = 60 \text{ кВт} \cdot \text{м};$$

$$M_n = M_1 + M_2 + M_3 + \alpha(3m_4 + 3m_5);$$

$$M_n = 1200 + 480 + 480 +$$

$$+ 2 \cdot 1,85(3 \cdot 2 \cdot 30) = 2826 \text{ кВт} \cdot \text{м};$$

$$S_1 = M_n / (c \Delta U) = 2826 / (44 \cdot 3) \approx 21,4 \text{ мм}^2.$$

Рис. 4.8. К примеру расчета сети на минимум проводникового материала

По таблице ближайшее большее стандартное сечение 25 мм².

Для этого сечения и $M_1 = 1200$ кВт · м определяем

$$\Delta U = M_1 / (c S_1) = 1200 / (44 \cdot 25) = 1,09\%.$$

Для верхней ветви сети: $M_n = M_2 + \alpha 3m_4 = 480 + 1,85 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 30 = 813$ кВт · м и располагаемая $\Delta U = 3 - 1,09 = 1,91\%$; $S = 813 / (44 \cdot 1,91) = 9,7 \text{ мм}^2$.

Ближайшее большее стандартное сечение 10 мм², располагаемая $\Delta U = 480 / (44 \cdot 10) = 1,1\%$.

На каждую из линий групповой сети остается $\Delta U = 1,91\% - 1,1\% = 0,8\%$; для двухпроводной линии $c = 7,4$; $S = 60 / (7,4 \cdot 0,8) = 10 \text{ мм}^2$.

Рассмотренные схемы расчета имеют симметричную нагрузку всех фаз одной линии.

§ 4.4. Расчет сети по току нагрузки

Прохождение тока по проводнику вызывает его нагревание. Расчет проводов по току нагрузки сводится к определению тока, при длительном протекании которого нагрев проводников не превысит значений установленных ПУЭ для определенной конструкции проводов. В электротехнических справочниках и ПУЭ приведены таблицы допустимых по условиям нагрева токовых нагрузок на провода и кабели с алюминиевыми и медными жилами в зависимости от вида изоляции, сечения проводников, числа совместно прокладываемых токопроводящих жил, способов и условий прокладки сети.

Для данной марки провода и определенных условий прокладки установившаяся температура жил провода зависит лишь от плотности тока, что позволяет расчетным путем определить для каждого сечения предельное значение тока, длительное протекание которого не вызывает перегрева провода, предусмотренного требованиями ПУЭ. Как пример в приложении 6 приведено значение длительно допустимого тока I_d для проводов и кабелей на напряжение до 1 кВ с алюминиевыми жилами при окружающей температуре воздуха 25°C и земли 15°C для различных типов проводов и разных способов прокладки.

Из приложения 6 видно, что с увеличением сечения увеличиваются длительно допустимые токи I_d , однако увеличение тока при увеличении сечения жил заметно меньше, чем его возможное увеличение при большем числе жил меньшего сечения. Это дает возможность заключить, что по условиям нагревания бывает целесообразно вместо одной линии большего сечения прокладывать две или более меньших сечений, позволяющих уменьшить расход проводникового материала.

Значение рабочего тока в зависимости от конфигурации сети определяется по формулам:

для трехфазной сети с нулевым проводом или без него при равномерной нагрузке фаз

$$I_p = P_p \cdot 10^3 / (\sqrt{3} U_n \cos \varphi); \quad (4.34)$$

для двухфазной сети с нулевым проводом при равномерной нагрузке

$$I_p = P_p \cdot 10^3 / (2 U_\phi \cos \varphi); \quad (4.35)$$

для двухпроводной сети

$$I_p = P_p \cdot 10^3 / (U_\phi \cos \varphi); \quad (4.36)$$

для каждой из двух фаз двух- и трехпроводных сетей с нулевым проводом при любой, в том числе и неравномерной, нагрузке

$$I_p = P_p \cdot 10^3 / (U_\phi \cos \varphi); \quad (4.37)$$

где I_p — рабочий ток сети, А; P_p — расчетная нагрузка, включая потери в ПРА для газоразрядных ламп, кВт; U_ϕ — фазное напряжение, В; U_n — линейное напряжение, В; $\cos \varphi$ — коэффициент мощности нагрузки.

По допустимому нагреву проводников должны быть проверены все участки электрической осветительной сети. При этом

$$I_n \geq I_p, \quad (4.38)$$

где I_p — рабочий ток на участке, А; I_n — максимально допустимый ток по условиям нагрева проводника, А.

Выполнение этого условия гарантирует пожарную безопасность и нормируемый срок службы проводок при нормальных неаварийных режимах.

При равномерной нагрузке фаз ток в нулевом проводе трехфазной сети при питании ламп накаливания равен нулю, ток же, питающий газоразрядные лампы, может достигать величины фазного тока. При существенной неравномерности нагрузки необходимо определять токи и сечения проводников для каждой фазы.

Для трехфазных линий с включением нагрузок на линейное напряжение линейные токи I_A , I_B , I_C зависят от порядка следования фаз (А-В-С или В-А-С).

При прямом следовании фаз

$$\begin{aligned} I_A &= \sqrt{I_{AB}^2 + I_{CA}^2 + 2I_{AB} \cdot I_{CA} \sin(\varphi_{AB} - \varphi_{CA} + 30^\circ)}, \\ I_B &= \sqrt{I_{BC}^2 + I_{AB}^2 + 2I_{BC} \cdot I_{AB} \sin(\varphi_{BC} - \varphi_{AB} + 30^\circ)}, \\ I_C &= \sqrt{I_{CA}^2 + I_{BC}^2 + 2I_{CA} \cdot I_{BC} \sin(\varphi_{CA} - \varphi_{BC} + 30^\circ)}. \end{aligned} \quad (4.39)$$

При обратном следовании фаз в каждой из этих формул (4.39) необходимо поменять местами индексы углов (АВ и СА, ВС и АВ, СА и ВС).

Так как порядок следования фаз при проектировании неизвестен и может меняться в процессе эксплуатации, линейные токи необходимо определять для обоих вариантов следования фаз.

§ 4.5. Наименьшие сечения проводов, допускаемые по условиям механической прочности

Провода и кабели, прокладываемые в электрических сетях, должны обладать достаточной механической прочностью, чтобы не допускать обрывов во время монтажа при протаскивании через трубы, при натяжке и креплении на опорах, противостоять повреждениям, возможным при эксплуатации, и тем самым обеспечивать надежность работы электрического освещения.

Для выполнения этих требований необходимо соблюдать установленные ПУЭ расстояния между точками крепления проводов различных сечений, следить, чтобы сечения токопроводящих проводников были не менее указанных в табл. 4.3.

Таблица 4.3

Проводники	Минимальное сечение проводников, мм ²	
	медных	алюминевых
Провода для зарядки светильников:		
общего освещения:		
внутри зданий	0,5	—
вне зданий	1,0	—
подвесных местного освещения	0,75	—
прочих стационарных местного освещения:		
подвижных	1,0	—
подсоединяемых	0,5	—
настольных	0,75	—
Кабели шланговые и шнуры в общей оболочке для присоединения переносных электроприемников:		
бытовых	0,75	—
в промышленных установках	1,5	—
Кабели шланговые для присоединения передвижных электроприемников	2,5	—
Скрученные двухжильные провода (шнуры) с многопроволочными жилами для прокладки на роликах	1,0	—
Кабели, защищенные и изолированные провода для неподвижных прокладок на роликах, скобах и в трубах	1,0	2,5
Незащищенные изолированные провода внутри помещений при прокладке:		
на изоляторах в виде перекидок между фермами или колоннами при расстоянии между опорами, м:		
≤ 6	2,5	4
≤ 12	4	10
> 12	6	16
Незащищенные изолированные провода на изолирующих опорах в наружных установках:		
под навесом на роликах	1,5	2,5
по стенам, конструкциям и опорам на изоляторах	2,5	4
Голые провода в зданиях	2,5	—
Воздушные линии напряжением до 1000 В	6	16
Заземляющие проводки:		
голые	4	6
изолированные	1,5	2,5
Заземляющие жилы кабелей и многожильных проводов в общей оболочке с фазовыми жилами	1	2,5

В производственных зданиях применяют прокладки проводов или кабелей осветительной сети по тросам или струне из стальной канатной проволоки. Часто к тросу или струне подвешиваются также и светильники. При тросовых и струнных проводках необходимо проводить расчеты на механическую прочность для определения диаметра троса или канатной проволоки.

При тросовых проводках в зависимости от нагрузки стальные тросы следует принимать диаметром 1,95—6,5 мм; канатку диаметром 5,5—8 мм.

Когда на канатке подвешивается только кабель групповой сети без светильников и крепление канатки осуществляется не более чем через 4 м, ее диаметр при струнных проводках принимается равным 2—4 мм.

Для внутренней, а при подвеске на крюках — внешней зарядки светильников проводами, а также для присоединения переносных и передвижных светильников должны применяться только медные гибкие проводники.

Глава 5

СВЕТОТЕХНИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ ПРОЕКТА ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

§ 5.1. Объем и содержание проектов освещения

Строительство и реконструкция зданий и сооружений производятся согласно предварительно разработанным проектам и сметам. Требования к содержанию, объему, порядку разработки, согласования и утверждения проекта и смет определяются [36], в которой устанавливается порядок составления проектной документации.

Перед разработкой проектов обычно составляют *технико-экономическое обоснование* (ТЭО), подтверждающее необходимость и целесообразность строительства здания или сооружения. После утверждения ТЭО приступают к разработке технических проектов, рабочих чертежей и технорабочих проектов.

Для крупных и сложных промышленных комплексов, зданий и сооружений проект осветительной установки разрабатывают в две стадии: *технический проект* и *рабочие чертежи*.

В техническом проекте решаются основные вопросы светотехнической и электрической частей осветительной установки, а также выдаются задания на проектирование электроснабжения и основные строительные решения (например, на мостики для обслуживания светильников), производится предварительное выявление потребности в оборудовании и основных материалах, определяется сметная стоимость установки. Технический проект должен содержать пояснительную записку, таблицу основных технических показателей, спецификацию на светильники, электрооборудование, провода, кабели и основные материалы, смету.

Рабочие чертежи разрабатываются на основании утвержденного технического проекта в объеме, необходимом для выполнения строительных и монтажных работ.

Для объектов массового строительства разрабатываются (без технического проекта) технорабочие проекты, по которым осуществляется строительство.

В связи с тем что монтаж осветительных установок производится по технорабочим или рабочим чертежам, эти стадии проектирования являются наиболее важными и ответственными. Проекты в этой стадии надо выполнять так, чтобы по ним быстро и качественно можно было выполнить монтаж освещения.

Для разработки технорабочего проекта необходимы следующие материалы: поэтажные планы здания и характерные разрезы его с указанием назначения помещения; планы размещения производственного оборудования и его эксплуатации (технологические чертежи); чертежи подъемно-транспортных устройств, санитарно-технической части, технологических трубопроводов; металлических и железобетонных конструкций; чертежи, показывающие в плане и разрезе расположение отопительных и вентиляционных, а также водопроводных устройств. При наличии оборудования, требующего встроенного или местного освещения, не поставляемого комплектно с механизмами, необходимы установочные чертежи этого оборудования.

Разработку технорабочего проекта или рабочих чертежей следует производить в соответствии с условиями среды в помещениях, причем особо строго в полном соответствии с Правилами устройства электроустановок (ПУЭ) должны быть установлены группы и категории среды. Необходимы также данные об источниках питания осветительной установки.

При проектировании рекомендуется достаточно подробно изучить технологический процесс освещаемого предприятия и знать характер зрительной работы, выполняемой в помещениях.

Целесообразно широко использовать проекты-аналоги ранее выполненных объектов, типовые решения и другие материалы. Для проектирования наружного освещения на стадии рабочих чертежей необходимо иметь генеральный план с нанесенными на него зданиями, дорогами, проездами, озеленением, заборами, воздушными и подземными линиями электроснабжения, связи и другими подземными коммуникациями.

В состав технического проекта входят: пояснительная записка; таблица основных технических показателей; заявочная ведомость на электрооборудование, кабельную продукцию и основные материалы; спецификации электрооборудования с длительным временем изготовления, т. е. в основном комплектные распределительные устройства, подлежащие индивидуальному заказу; планы-схемы внутренней питающей сети крупных зданий; план внешней питающей сети, как правило, совмещаемый с планом других электрических сетей; эскизы фасадов вышеуказанных комплектных устройств; строительные задания (на мостики обслуживания, специальные электропомещения и т. д.); смета.

В краткой пояснительной записке характеризуются и обосновываются основные решения проекта (выбор видов, систем и способов освещения, источников света, осветительных приборов и т. д.). Отмечаются основные решения по эксплуатации освещения.

В таблицу основных технических показателей входят следующие данные: освещаемая площадь в м^2 ; преимущественная освещенность в лк; преимущественный тип осветительных приборов общего освещения, удельная мощность общего освещения в $\text{Вт}/\text{м}^2$, количество светоточек (раздельно: общее освещение, местное и розетки).

В заявочной ведомости технического проекта выделяются разделы: электрооборудование, светильники и лампы, комплектные изделия заводов монтажных организаций (щитки, ящики, шинопроводы), электромонтажные изделия тех же заводов, электроустановочные изделия, черные металлы и трубы и т. д.

На данной стадии отдельные типоразмеры не указываются, а изделия объединяются в группы. Так указывается общее количество светильников с разбивкой только по типам источников света, лампы не разделяются по мощности и т. п.

На планах питающей сети предельно упрощенно показывается строительная часть зданий, изображаются щитки, у которых указывается номер и установленная мощность, наносятся линии сети с указанием марок и сечений кабелей и проводов.

При техническом проектировании выполняются те же операции, что и при рабочем, но в предварительном эскизном виде. На планах основных помещений фрагментарно намечаются места установки светильников и щитков (а для мелких помещений указываются число и тип светильников), но планы эти не оформляются начисто, а группируются в «черновой том», хранящийся у автора проекта. Светильники, щитки и различное оборудование подсчитываются по планам и таблице показателей (поскольку для сметы разделение по типоразмерам необходимо); кабельные изделия для питающей сети учитываются по данным расчета сечений и обмера трасс, потребность во всех остальных изделиях (провода и кабели групповой сети, выключатели и т. п.) определяется по укрупненным показателям с использованием проектов-аналогов.

§ 5.2. Рабочие чертежи и технорабочие проекты

Чертежи планов и разрезов помещений содержат основные сведения о светотехнических решениях и об электрической части осветительных установок.

При разработке планов необходимо использовать комплекс условных обозначений и требований по выполнению надписей и цифр, указанных в табл. 5.1.

На планы наносят светильники, магистральные пункты, групповые щитки, понижающие трансформаторы, питающие и групповые сети, выключатели, штепсельные розетки, указываются также названия помещений, номируемая освещенность от общего освещения, класс пожаро- и взрывоопасности помещений, типы, высота уста-

Наименование обозначения	Символы
Светильник подвесной с лампой накаливания	
Плафон с лампой накаливания	
Светильник с люминесцентными лампами	
Линия светильников с люминесцентными лампами	
Светильник с лампой ДРЛ	
Пржектор, α — угол наклона к горизонту	
Маркировка светильников: T — тип, n — число ламп в светильнике; p — мощность лампы, Вт, h — высота установки, м; N — число светильников в линии или блоке: одноламповый светильник	$T \ p/h$
многоламповый светильник	Tnp/h
несколько совместно установленных светильников, обозначенных общим символом	$N \left(T \frac{p}{h} \right)$
Линия люминесцентных светильников	$N \left(T \frac{np}{h} \right)$
Магистральный щиток	
Групповой щиток рабочего освещения	
Групповой щиток аварийного освещения	

Продолжение табл. 5.1

Наименование обозначения	Символы
Маркировка щитков при отсутствии схемы питающей сети: M — шифр или номер по плану или схеме; p — установленная мощность, кВт; ΔU — потеря напряжения до щитка, %; T — заводской тип	$M \frac{p}{\Delta U} T$
Ящик однофидерный	
Магнитный пускатель или контактор	
Шкаф со статическими конденсаторами	
Трансформатор	
Розетка штепсельная (слева — защищенного; справа — брызгонепроницаемого исполнения): двухполюсная	
двухполюсная с контактом заземления	
трехполюсная с контактом заземления	
Выключатель или переключатель (слева — защищенного, справа — брызгонепроницаемого исполнения): однополюсный выключатель	
двухполюсный выключатель	
трехполюсный выключатель	
однополюсный переключатель	
двухполюсный переключатель	

Продолжение табл. 5.1

Наименование обозначения	Символы
трехполюсный переключатель	
Блок из двух или трех аппаратов (как пример)	
Соответствие выключателей и управляемых ими светильников	
Нормированная освещенность от общего освещения	$E_{\text{лк}}$
Класс пожароопасности помещения (как пример)	П — I
Класс взрывоопасного помещения, категория и группа взрывоопасной смеси (как пример)	
Линия сети: рабочего освещения	
аварийного или охранного освещения	
напряжения 42В и ниже	
дистанционного управления	
Линии питающей сети вычерчиваются утолщенными Кабель в траншее (например, рабочего освещения)	
Трос и его концевое крепление	
Место изменения сечения, марки или способа прокладки сети	

Наименование обозначения	Символы
Разделительное уплотнение	
Опора со светильником; N — номер опоры	
Опора с оттяжкой	
Прожекторная мачта (M) или вышка (B) на крыше здания; N — номер, a — общая установленная мощность, кВт; b — высота над землей, м	
Направление проекции осевого луча прожектора: N — номер прожектора, a — тип, b — угол наклона к горизонту, c — фаза сети, α — угол поворота	
Предохранитель (в том числе грибообразный): a — ток плавкой вставки, А	
Очаг повторного заземления	
Отдельные помещения, в которых выполняется заземление	
Число проводов в линии, отличное от двух	
Маркировка фаз и нуля	A, B, C, N
Стойки (точка соответствует отметке начала стойки, стрелка — его направлению)	
Надписи на линии питающей сети при отсутствии ее схемы: N — номер линии, p — расчетная нагрузка, кВт; I — расчетный ток, А; l — длина участка, м; M — марка проводника; nq — число жил и сечение; c — способ прокладки, если его надо пояснить При наличии схемы указывается только N	$\frac{N - p - I}{I - M - nq - c}$

Наименование обозначения	Символы
Надписи на линиях групповой сети: N — номер группы (автомата на щитке), M — марка провода или кабеля; nq — число жил и сечение; c — способ прокладки, если его надо пояснить	$N - M, nq - c$
Маркировка нескольких групп, изображаемых общей линией, число полок — по числу линий; обозначения как для линий групповой сети; марки и сечения не указываются, если они оговорены в примечаниях $1 - 3, N - M, nq - c$	
Проводка в трубах (Т) с указанием условного прохода и на изоляторах (И)	Т, И

Примечание. Таблица составлена Г. М. Кворригом.

новки светильников и мощность ламп, способы проводки и сечения проводов и кабелей осветительных сетей. На этих чертежах приводятся типы магистральных пунктов, групповых щитков, ток распределителей автоматов на щитках, типы конденсаторных установок для газоразрядных ламп высокого давления. Привязочные размеры мест установки светильников, щитков, отметки мест прокладки осветительных сетей указываются в случаях, когда необходимо точное фиксирование этих мест. У части светотехнического оборудования на планах освещаемого помещения проставляются условные номера, а в ведомости, помещенной на том же чертеже или на отдельных листах проекта, указываются ГОСТы или технические условия на эти изделия, номера типовых конструктивных чертежей узлов, а также линий установки светильников или оборудования.

На чертежах планов могут быть даны указания и пояснения, необходимые для монтажа светильников, электрооборудования и осветительных сетей.

При проектировании зданий, ряд помещений которых имеет одинаковые светотехнические решения: светильники, осветительную сеть и другие одинаковые элементы, рекомендуется все решения наносить только для одного помещения, для других делают соответствующую ссылку на него, на общем же плане этажа показываются только вводы в такие помещения. Такой способ оформления чертежей заметно уменьшает трудоемкость проектирования.

Чертежи поэтажных планов всех помещений выполняются обычно в масштабе 1:100 или 1:200, а для наружного освещения — генплан территории в масштабе 1:1000 или 1:500.

Для производственных зданий со сложной строительной частью или большим числе площадок дополнительно к планам в проекте освещения даются характерные разрезы, на которых наносятся

светильники, указываются их мощность и высота установки и при этом необходимо отметить щитки, места прокладки сети, выключателей и т. д.

Строительная часть здания, а также основное оборудование нанесены тонкими линиями без излишних подробностей.

Кроме чертежей планов и разрезов освещаемых помещений с нанесенными на них схемами освещения в проектную документацию входят: заказные спецификации на электрооборудование и материалы; таблицы условных обозначений; схемы или планы-схемы питающей сети; строительные задания; схемы дистанционного управления или другие специальные схемы; нетиповые установочные чертежи.

При необходимости пояснения или обоснования решений составляется пояснительная записка, содержащая краткие сведения по основным проектным решениям: типы источников света и светильников, принятые системы и виды освещения, источники питания и напряжение сети, меры электробезопасности, способы доступа к светильникам для обслуживания, а также итоговые данные проекта (освещаемая площадь, установленная мощность по видам освещения, число установленных светильников). Если разработке рабочих чертежей предшествовала разработка технического проекта, то пояснительную записку можно не составлять, приводят только итоговые данные проекта и указывают отступления в рабочих чертежах от технического проекта.

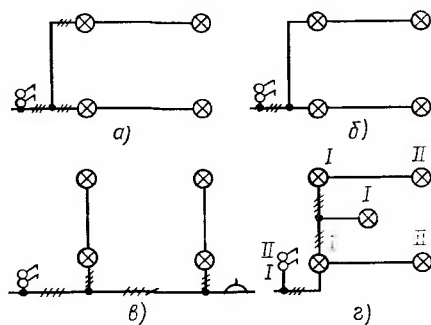


Рис. 5.1. Использование системы засечек:

а — раздельно включаются левые и правые светильники; б — раздельно включаются верхние и нижние; в — верхние и нижние; штепсельная розетка не выключается вообще; г — одинаковыми цифрами отмечены светильники и управляющие ими выключатели.

Питающие и групповые сети на планах помещений наносят более толстыми линиями, чем строительные элементы здания и оборудования, при этом число проводов в групповых линиях (более двух) обозначают числом засечек, наносимых под углом 45° к линии сети.

По предложению Г. М. Кнорринга принятые схемы включения различных рядов светильников можно изобразить так, как показано на рис. 5.1. При перегрузке светотехнических чертежей линиями и надписями прокладываемые по общей трассе группы одного вида освещения обозначают общей линией (рис. 5.2).

В этом случае приобретает значение четкая нумерация групп для каждого участка. Из схемы рис. 5.2, а видно, что головной участок левой линии состоит из двух кабелей: трехжильного (группы 1 и 3 с общим нулем) и четырехжильного (группы 2, 4 и 6 с общим нулем). Общий нулевой провод могут иметь только группы разных фаз.

Повсеместное указание групп необходимо для обеспечения равномерной нагрузки фаз. При щитках, без заводской нумерации групп (а также в проектах наружного освещения) указываются фазы присоединения.

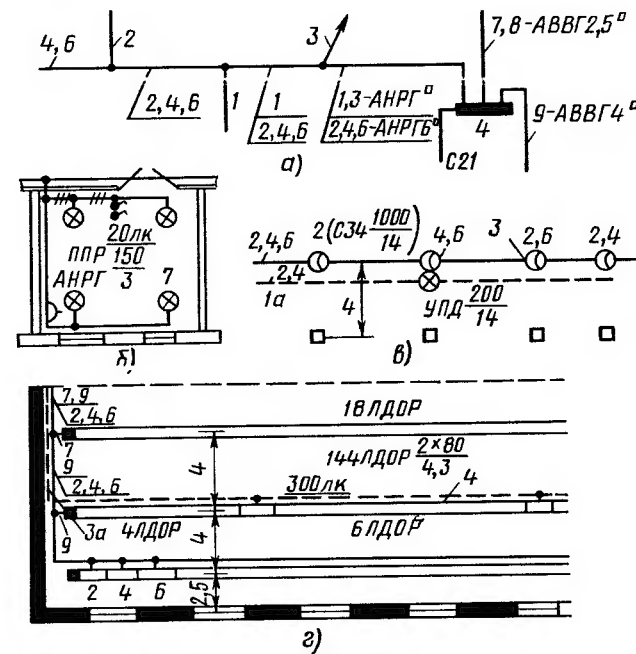


Рис. 5.2. Элементы оформления планов осветительной установки

В тексте примечания к планам указывают итоговые данные, напряжение сети, ссылки на условные обозначения, сведения о заземлении и максимум данных, общих для осветительной установки.

На планах указываются: контуры строительной части; наименование помещений; контуры основного оборудования, особенно если оно определяет размещение светильников; освещенность, принятая для каждого помещения; тип, мощность, расположение и высота установки светильников; ряды светильников, а также отдельные светильники, место установки которых строго фиксируется; маркировка конструктивных узлов (цифры в кружках), комплектных линий, секций тросовой проводки, установок светильников на кронштейнах и подвесах и т. п.; выключатели, штепсельные розетки, трансформаторы 12—42 В; щитки, ящики, пускатели и другие отдельно стоящие аппараты; осветительные сети всех назначений; необходимость заземления, если оно выполняется в части помещений.

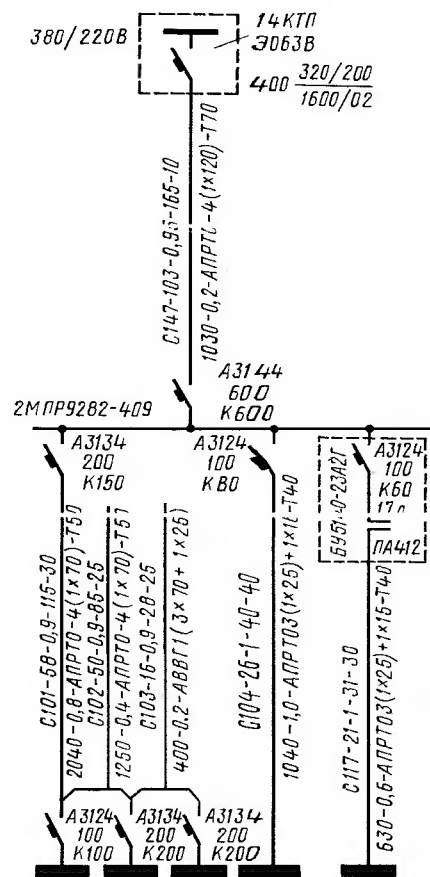


Рис. 5.3. Фрагмент схемы питающей сети

Элементы оформления планов показаны на рис. 5.2. Для небольших объектов с простой схемой питания все данные щитков и питающей сети показываются на планах осветительной установки. В остальных случаях оформляется однолинейная схема питающей сети (рис. 5.3) или все те же данные показывают на отдельно выполненном плане здания, т. е. на плане-схеме.

Обозначения на рис. 5.3. следующие: С 147—103—0,95—165—10; маркировка — расчетная нагрузка (кВт) — коэффициент мощности, — расчетный ток (А), — длина участка (м); 1030—0,2—АПРТО—4(1×120)—Т70; момент (кВт м) — потеря напряжения в линии (%) — марка проводника — сечение проводника, способ прокладки — маркировка трубы. А3144, 600, К600: автомат: тип, номинальный ток (А), расцепитель (А); 2М ПР 9282—409: пункт магистральный, номер по плану, тип. Под схемой дана табл. 5.2 на групповой щиток.

В планах рабочих чертежей проектов наружного освещения показывают сети всех назначений, опоры, светильники и мачты с направлением осевых лучей прожекторов.

Таблица 5.2

Щиток групповой	Номера по плану	1	2	3	4	11
	Тип	ПР9232—205	ПР9242—316	ПР9232—311	ПР9232—118	ПР9232—108
	Установленная мощность, кВт	20	37	18	29	21
	Потеря напряжения до щитка, %	1,0	1,4	1,6	1,2	0,8

§ 5.3. Выбор варианта осветительной установки по экономическим показателям

Требования к освещению рабочих мест и помещений промышленных предприятий можно удовлетворить различными решениями осветительных установок. В зависимости от выбранных источников света, светильников, их размещения, электроустановочных изделий, трассы прокладки электрических сетей и т. д. могут существенно изменяться как капитальные вложения на сооружение осветительных установок, так и годовые эксплуатационные расходы на ее обслуживание.

При оценке экономичности сравниваемых вариантов осветительной установки одновременно сопоставляются как первоначальные капитальные вложения, так и годовые эксплуатационные расходы. Эти показатели могут служить основанием для принятия решения только при равенстве параметров, характеризующих светотехнические установки (освещенность, яркость полей адаптации, качественные показатели освещения, спектральный состав света и т. д.), ее надежность и условия электробезопасности.

Сопоставление первоначальных (капитальных) затрат (К) производится по смете. Однако вариант с большими капитальными вложениями может характеризоваться меньшими эксплуатационными расходами и рассматриваться как оптимальный, если увеличение капитальных затрат окупается в срок не более 8,3 лет (нормативный срок окупаемости капитальных вложений в строительство). Поэтому в общем случае выбирают вариант, в котором меньше приведенные годовые затраты

$$Q = Э + (\alpha + 0,12) K_z, \quad (5.1)$$

где Э — ежегодные эксплуатационные расходы, руб/год; K_z — первоначальные капитальные затраты, руб; α — ежегодные амортизационные отчисления в долях единицы (обычно 0,1); 0,12 — нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений, соответствующий сроку окупаемости капитальных вложений, равному 8,3 года.

Сравнение экономичности вариантов осветительных установок применяют только в случаях, когда варианты создают практически равноценные условия освещения. При несоблюдении условий освещения: наличии разницы в освещенности или сравнении варианта люминесцентного освещения с вариантом освещения, выполненным лампами накаливания, а также сравнении варианта общего освещения с вариантом комбинированного, при которых могут заметно отличаться уровни освещенности на рабочих местах, а следовательно, и производительность труда, такой метод не может быть признан удовлетворительным.

Определять наиболее экономичный вариант по приведенным затратам рекомендуется, когда в сравниваемых вариантах нет разницы в осветительных условиях. Годовые эксплуатационные

расходы в приведенных затратах на осветительную установку по методике, предложенной С. А. Ключевым, могут рассматриваться состоящими из следующих основных элементов:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_3 + \mathcal{E}_л + \mathcal{E}_а + \mathcal{E}_ч + \mathcal{E}_р, \quad (5.2)$$

где $\mathcal{E}_3$ — стоимость электроэнергии, израсходованной за год; $\mathcal{E}_л$ — стоимость ламп, сменяемых за год; $\mathcal{E}_а$ — стоимость амортизации осветительной установки за год; $\mathcal{E}_ч$ — стоимость чистки светильников за год; $\mathcal{E}_р$ — стоимость обслуживания и текущего ремонта.

Стоимость сменяемых ламп определяется отдельно по типам ламп с различным сроком службы путем умножения суммарной стоимости ламп данного типа на кратность замены, т. е. отношение годового числа часов использования к среднему сроку службы ламп.

При использовании для обслуживания механизированных средств учитывается стоимость расходуемой ими энергии. При устройстве мостиков для обслуживания их стоимость входит в капитальные затраты K_3 .

Стоимость электроэнергии, израсходованной за год, можно определить согласно уравнению.

$$\mathcal{E}_3 = \alpha k_{сп} P T q \left(1 + \frac{\Delta U}{100} \right), \quad (5.3)$$

где α — коэффициент, учитывающий потери электроэнергии в пускорегулирующих аппаратах газоразрядных ламп; P — установленная мощность, кВт; $k_{сп}$ — коэффициент спроса; T — число часов использования осветительной установки в год; q — стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, руб.; ΔU — потеря напряжения в осветительной сети до «средних ламп», %.

Стоимость ламп, сменяемых за год,

$$\mathcal{E}_л = N n \frac{I}{t} A, \quad (5.4)$$

где N — число светильников; n — число ламп в светильнике; A — стоимость одной лампы, руб.; t — номинальный срок службы, ч.

Амортизационные отчисления определяются частью первоначальных затрат. Как правило, сроки службы отдельных элементов осветительных установок различны. Так как в сравниваемых вариантах осветительных установок одинаковые уровни освещенности и источники света, стоимость электроустановочных изделий (сети, щитки и т. д.) можно принять одинаковой и исключить из сравнения.

Приблизительно срок службы светильников принимают равным 10 годам вне зависимости от их конструкции, тогда

$$\mathcal{E}_а = 0,1 N (B + M), \quad (5.5)$$

где $\mathcal{E}_а$ — амортизационные отчисления; N — число светильников; B — стоимость светильника; M — стоимость монтажа светильника.

Стоимость чистки светильников за год $\mathcal{E}_ч$ определяется произведением числа светильников N на количество чисток за год m и стоимость одной чистки в рублях B :

$$\mathcal{E}_ч = N m B. \quad (5.6)$$

В расчетах широко применяются формулы С. А. Ключева: для определения приведенных затрат Q осветительной установки, содержащей N светильников,

$$Q = N \left[\frac{T A n}{\tau} + \frac{\alpha p T q n (1 + \beta) + 220 (B + M + \gamma) + 1000 m B}{1000} \right], \quad (5.7)$$

капитальные затраты, руб.

$$K_3 = N (A n + B + M + \gamma + 0,001 \alpha p C n). \quad (5.8)$$

Эксплуатационные расходы, руб.

$$\mathcal{E}_р = N \left[\frac{T A n}{\tau} + \frac{\alpha p T q n (1 + \beta) + 100 (B + M + \gamma) + 0,1 \alpha p C n + 1000 m B}{1000} \right], \quad (5.9)$$

где n — число ламп в светильнике; p — мощность лампы, Вт; τ — номинальный срок службы ламп; T — число часов использования осветительной установки в год; q — тариф на электроэнергию, руб./кВт·ч; m — число чисток светильников в год; A , B — цены лампы и светильника, руб.; M — стоимость монтажа одного светильника, руб.; C — стоимость монтажа электрической части осветительной установки на 1 кВт установленной мощности ламп и потерь в пускорегулирующих аппаратах (для установок с газоразрядными лампами), руб./кВт; B — стоимость одной чистки светильника, руб.

Значения коэффициентов α , β и γ приведены в табл. 5.3.

Таблица 5.3

Кэф-фици-ент	Лампы нака-лива-ния	Люмине-сцент-ные лампы	Лампы ДРЛ	
			без конденсаторов	с конденсаторами на групповых линиях
α	1	1,2		1,1
β	$\frac{\epsilon}{100}$	$\frac{\epsilon}{100 \cos^2 \varphi}$	$\frac{\epsilon}{100 \cos^2 \varphi}$	$\frac{\epsilon_{пит}}{100 \cos^2 \varphi_{пит}} - \frac{\epsilon_{гр}}{100 \cos^2 \varphi_{гр}}$
γ	0	0	0	$K + M_k$

В таблице приняты следующие обозначения: $\epsilon_{пит}$ — потери напряжения в осветительной и питающей сетях (от трансформатора до средней лампы и от трансформатора до группового щитка), %;

$\epsilon_{гр}$ — потеря напряжения в групповой сети до средней лампы, %; $\cos\varphi$ — коэффициент мощности осветительной установки с газоразрядными лампами; $\cos\varphi_{пит}$ и $\cos\varphi_{гр}$ — то же, для питающей и групповой сетей с лампами ДРЛ; K — стоимость приходящихся на один светильник конденсаторов для повышения коэффициента мощности при лампах ДРЛ, устанавливаемых на групповых линиях, руб.; M_k — стоимость монтажа конденсаторов при лампах ДРЛ, руб.

Годовое число часов использования обычно принимается равным.

Для внутреннего освещения *, ч:

при односторонней работе на широте, град:

46	550 (2150)
56	600 (2150)
64	700 (2150)

при двухсторонней независимо от широты 2250 (4300)

при трехсторонней 4150 (6500)

при круглосветной 4800 (8760)

Для наружного освещения:

включенного всю ночь 3500

выключенного в 1 ч ночи 2400

* Значения в скобках для помещений без естественного света.

Числовые значения, входящие в формулы (5.6) — (5.9), определяются так: тип, мощность и число светильников — светотехническими расчетами; срок службы источников света — по ГОСТу или техническими условиями на источники света; цены ламп А, светильников Б и конденсаторов К — по действующим прейскурантам или данным заводов-изготовителей; число чисток светильников в год m — по СНиП II-4-79 или отраслевым нормам; стоимость чисток с достаточной точностью можно принять по табл. 5.4.

Таблица 5.4

Способ доступа к светильникам для обслуживания	Стоимость одной чистки, руб. светильников с лампами		
	накаливания	ДРЛ	люминесцентными
Лестницы, стремянки	0,4	0,5	0,6
Напольные передвижные подъемные устройства (вышки) самоходные	0,5	0,6	0,75
то же, самоходные	0,6	0,8	1,0
Мостовые технологические краны и технологические кран-балки с прицепным мостиком при их технологической загрузке до, %:			
25	0,75	1,0	1,25
40	0,9	1,2	1,5
60	1,2	1,6	2,0
Мостовые ремонтные краны, кран-балки с прицепным мостиком	0,7	0,9	1,1
Стационарные мостики, галереи, площадки	0,3	0,4	0,5

Тариф на электроэнергию для освещения промышленных предприятий принимается по расценкам электроснабжающих организаций, а при отсутствии — стоимость 1 кВт·ч можно принять равной 0,015 руб.

Стоимость монтажа электрической части осветительных установок на 1 кВт установленной мощности C принимается усредненной на основании практики проектирования в соответствии с проектами-аналогами. При отсутствии таковых можно принять равной 65 руб.

Для расчетов приведенных затрат можно рекомендовать усредненные значения потери напряжения в осветительных сетях: $\epsilon = 3\%$, $\epsilon_{пит} = 1,5\%$ и $\epsilon_{гр} = 1,5\%$. На результаты расчета большого влияния значения $\cos\varphi$ не оказывают, поэтому приняты следующие величины: для люминесцентных ламп — 0,9; ламп ДРЛ без конденсаторов — 0,5; с конденсаторами на групповых линиях $\cos\varphi_{пит} = 0,9$, $\cos\varphi_{гр} = 0,5$. При этих условиях коэффициент β в табл. 5.2 для ламп накаливания, люминесцентных и ДРЛ можно принять равным 0,03; 0,037; 0,12 и 0,078.

Для некоторых производств улучшение условий освещения может привести к увеличению производительности труда и снижению брака продукции. При этих условиях увеличение капитальных затрат и эксплуатационных расходов на улучшение освещения может в несколько раз окупиться прибылью, полученной предприятием от прироста и повышения качества выпускаемой продукции, что необходимо учитывать при выявлении выгодных вариантов осветительных установок. В этом случае приведенные затраты должны быть отнесены к количественно одинаковой партии изделий

$$Z_i = \frac{\epsilon_i + 0,12K_i}{N_i}, \quad (5.10)$$

где Z_i — удельные приведенные затраты на одну партию (штуку) изделий, выпускаемых за определенное время (месяц, неделю); N_i — количество партий (штук) изделий; ϵ_i и K_i — эксплуатационные расходы и капитальные затраты.

При сопоставлении нескольких вариантов осветительных установок оптимальным по технико-экономическим показателям будет тот вариант, у которого удельные приведенные затраты минимальны

$$\epsilon_i + 0,12k_i = \min, \quad (5.11)$$

где $\epsilon_i = \epsilon_i/N$ — удельные эксплуатационные расходы на единичную партию изделий; $k_i = K_i/N$ — удельное ежегодное отчисление на покрытие капитальных затрат, отнесенное к одной партии изделий.

Для учета эффекта, получаемого от улучшения освещения, при технико-экономических сопоставлениях необходимы данные о производительности труда (количестве изделий, выпускаемых за определенное время — N), которые часто отсутствуют.